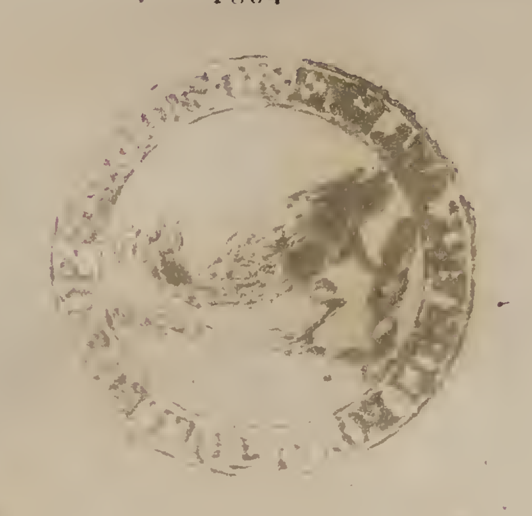


120/6

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

TROISIÈME ANNÉE

1864



PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1863

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR

P. P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PROFESSEUR DE CHIMIE AU COLLÉGE MUNICIPAL CHAPTAL
PRÉPARATEUR AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

A. DUMÉRIL, professeur de zoologie au Muséum d'histoire naturelle;
W. DE FONVIELLE; A. GUILLEMIN;
FÉLIX HÉMENT, professeur de sciences physiques à l'école Turgot et au collége Chaptal,
MENU DE SAINT-MESMIN, préfet général des études au collége Chaptal;
É. SAINT-EDME, préparateur de physique au Conservatoire
des arts et métiers.
ED. VIGNES, professeur suppléant d'histoire naturelle au collége Chaptal;
F. ZURCHER, ancien officier de marine.

TROISIÈME ANNÉE

~~1864~~

1863

PARIS

CHARPENTIER, LIBRAIRE-ÉDITEUR

28, QUAI DE L'ÉCOLE, 28

AVERTISSEMENT

L'année qui vient de s'écouler n'a pas été aussi féconde en grandes découvertes que ses remarquables aînées, 1860, 1861 et 1862, et l'attention du public s'est plus fixée sur de hardies tentatives empiriques que sur des travaux réguliers, appuyant sur de nombreuses observations leurs conclusions précises.

S'il est rare que la méthode *à priori* conduise à de bons résultats ; si l'on voit très-habituellement, au contraire, les inventeurs qui, au lieu de s'appuyer sur l'expérience, se laissent guider par un vague instinct, abandonner bientôt leurs entreprises quand, lassés du mirage incessant qui les a trompés, ils reconnaissent leur illusion ; il faut reconnaître cependant que leurs tentatives ne sont pas sans utilité.

Le public aime les coups de théâtre, il a besoin pour s'enthousiasmer de voir un progrès s'accomplir presque immédiatement sous ses yeux, et si de longs travaux qui doivent lentement et infailliblement conduire à la connaissance de la vérité le laissent froid et inattentif, son intérêt s'éveille au contraire à l'annonce d'une découverte accomplie tout à coup, qui permettra demain de voyager dans les

nuages ou de prédire à coup sûr les tempêtes. — Cet enthousiasme irréfléchi excite une polémique, soulève les réclamations des esprits sérieux, les force de se mettre à l'œuvre et amène des travaux et des observations régulières qui n'eussent pas été faits sans l'intervention de l'empirisme et de ses promesses illusoires.

Nous ignorons, si l'aérostation dont on s'est tant préoccupé cette année fera un pas en avant, mais il est possible que si quelque travail important surgit tout à coup, les exhibitions du Champ de Mars y soient pour quelque chose. — Les observations météorologiques et les publications régulières dont est chargé M. Marié-Davy sont filles à coup sûr des travaux de l'amiral Fitz Roy, mais je ne serais pas étonné que les prophéties enthousiastes qui inondent les journaux n'aient aussi contribué à leur établissement.

Nous ne pouvions, dans tous les cas, nous soustraire à l'obligation d'entretenir le lecteur de ces questions qui ont tant attiré l'attention publique ; aussi M. Menu de Saint-Mesmin, nous a-t-il fait un tableau animé des tentatives des aéronautes depuis l'origine jusqu'à nos jours; les lecteurs de l'*Annuaire* retrouveront dans la *Navigation aérienne* toute l'élégance et toute l'érudition auxquelles notre collaborateur les a habitués; tandis que, reprenant de son style original et coloré la suite de son travail de l'an dernier sur la prévision rationnelle du temps, M. de Fonvielle nous fait sentir clairement sur quelles illusions sont basées les prédictions, que le temps ne met aucune grâce à vérifier.

Nous avons suivi dans nos autres études la marche indiquée dans les volumes précédents, et nous avons laissé les travaux apparus dans le cours de cette année nous fournir les sujets que nous devions traiter.

La découverte des compagnons de Sirius, les observations nouvelles sur Mars, favorisées par l'opposition de 1862, ont fourni à notre collaborateur M. A. Guillemin, auquel son excellent livre des *Mondes* a donné cette année une notoriété bien méritée, l'occasion de présenter la belle question de l'attraction parmi les systèmes stellaires, et d'indiquer les suppositions les plus probables sur la constitution physique de Mars. Nous avons nous-même repris l'étude du soleil d'après les derniers travaux si importants de M. Kirshhoff et de M. A. Mitscherlich qui nous donnent sur les luttes de la chaleur et de l'affinité chimique dans le soleil, les idées les plus nouvelles et les plus inattendues.

Les travaux intéressants de M. E. Becquerel[1] sur la mesure des hautes températures, a fourni à notre collaborateur M. E. Saint-Edme le sujet d'un article important en même temps qu'il lui permettait de faire connaître les curieuses expériences de MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost sur l'endosmose des gaz dans les vases de terre ou de platine soumis à des températures élevées ; nous reviendrons au reste sur ce sujet l'an prochain. Nous avions vivement regretté de n'avoir pu faire connaître au lecteur de l'*Annuaire*,

[1] M. Edmond Becquerel a été nommé membre de l'Académie des sciences en remplacement de M. Despretz le 18 mai 1863 ; outre ses travaux sur la détermination des hautes températures, et sur la phosphorescence * dont nous avons entretenu nos lecteurs, M. E. Becquerel a étudié l'action du magnétisme sur un grand nombre de corps différents et notamment sur les gaz ; il a pu fixer à l'aide de certaines lumières, les couleurs du spectre solaire, mais les épreuves photochromatiques obtenues ainsi ne peuvent pas se conserver à la lumière. En commun avec M. E. Fremy, il a contribué à établir que l'ozone est de l'oxygène électrisé, enfin le nombre considérable et l'importance des recherches de M. E. Becquerel viennent complétement justifier le choix de l'Académie.

* *Annuaire* de 1862.

l'élégante interprétation donnée par M. Cahours des propriétés des radicaux composés, nous avions regretté également de n'avoir pu encore rappeler les travaux de M. Dumas sur les équivalents des corps simples publiés avant la fondation de l'*Annuaire*; notre travail sur la transmutation est donc une dette arriérée que nous a permis de solder l'intérêt, médiocre pour le public, des découvertes chimiques de l'année qui vient de s'écouler.

La discussion qui s'est élevée récemment sur la valeur des théories du commandant Maury nous a conduit à demander à M. Zurcher de vouloir bien écrire pour nous un article sur les courants de la mer, sujet que ses études et sa carrière maritime lui permettaient de traiter en toute connaissance de cause. Les derniers tremblements de terre, les travaux de M. de la Rive sur les aurores boréales, la probabilité que l'électricité terrestre tire son origine du soleil déjà étudiés l'an dernier, repris, dans ce volume, par M. W. de Fonvielle, ont complété le chapitre réservé à la physique du globe.

Dans ses articles remplis d'érudition sur les reptiles et sur l'acclimatation, M. A. Duméril nous a montré tout le parti qu'on peut tirer d'animaux considérés à tort comme des ennemis, et les ressources croissantes que nous présentera le règne animal à mesure que nous saurons mieux l'exploiter.

Bien que la discussion sur la mâchoire de Moulinquignon n'ait pas conduit à la solution du problème posé, et que nous ignorions encore l'époque certaine de l'apparition de l'homme sur la terre, nous ne pouvions manquer de rappeler les traits principaux du débat qui s'est élevé au palais Mazarin; cette tâche a été dévolue à M. F. Hement.

La botanique, la physiologie entrent résolûment depuis quelques années dans la voie expérimentale, les travaux de M. Decaisne, de M. Naudin sur la variabilité de l'espèce, ont eu trop de retentissement pour que nous n'en ayons pas profité pour entretenir le lecteur des remarquables recherches de M. Darwin; un jeune naturaliste, notre collègue au collége Chaptal, M. Vignes, a vaillamment abordé à notre demande la question de l'origine des espèces. Enfin les travaux sur l'équivalent du travail mécanique et de la chaleur qui ont une si grande importance, qui ont provoqué un si vif mouvement dans les idées, nous ont fourni l'occasion de traiter la belle question de la chaleur animale, pendant que les recherches de M. Graham sur la diffusion qui ouvre un champ si nouveau à la physiologie, nous fournissait le sujet de l'article sur l'absorption et la sécrétion chez les êtres vivants.

M. Menu de Saint-Mesmin nous a raconté dans la seconde partie de notre ouvrage réservée aux sciences appliquées, la visite qu'il a faite récemment aux travaux exécutés au mont Cenis, et nous a fait comprendre la possibilité du hardi projet des ingénieurs qui veulent faire passer un chemin de fer par-dessus les Alpes; plus loin il nous montre comment ont été levées les difficultés sérieuses que présentait le chemin de fer qui relie Lyon à la Croix-Rousse.

Les progrès de la photographie, les applications à l'éclairage des huiles de pétrole, et les travaux qui ajoutent plusieurs termes à la famille des alcools auxquels la découverte de ces carbures d'hydrogène a donné naissance, les recherches de M. Barral sur la fabrication du pain, celles de M. Hooibrenck sur la fécondation des céréales et des arbres fruitiers, les expériences enfin que nous avons faites

sur le plâtrage des terres arables, complètent la seconde partie à laquelle sont venues s'ajouter quelques pages sur la *Science au théâtre*, détachées par M. E. Saint-Edme de ses publications du *Cosmos*.

S'il est dans l'essence même de ce livre d'aborder ainsi toutes les questions que les progrès de la science mettent à l'ordre du jour, si la variété devient ainsi une nécessité, la communauté d'idées dans laquelle vivent les rédacteurs de l'*Annuaire* leur permet cependant d'établir une certaine unité dans leurs travaux.

La tendance bien marquée de la science actuelle est de rapporter les phénomènes observés à un petit nombre de causes premières. A l'origine, le savant isole chaque sujet, l'étudie en lui-même, le rapporte à une cause immédiate, et imagine une force qui lui permet d'expliquer les faits dont il a été témoin ; plus tard un travail d'ensemble s'exécute, deux causes supposées différentes se fondent en une seule, et l'on reconnaît qu'une force unique rend compte des faits qu'on avait cru d'abord attribuer à des forces spéciales ; la force vitale qui présidait autrefois à tous les phénomènes dont les êtres vivants sont le siége, a vu son domaine s'amoindrir ; non-seulement les réactions chimiques qui se produisent dans l'économie ont été rapportées aux forces chimiques ordinaires, par les travaux de M. Berthelot, mais elle tend aussi à disparaître de l'explication des phénomènes physiques depuis que M. Graham apporte aux idées déjà anciennes de Dutrochet un puissant appui. — L'électricité, la lumière, la chaleur, le travail d'abord considérés comme des manifestations de forces différentes, se fondent peu à peu en un principe unique ; le mouvement vibratoire de l'éther tend à devenir « le véritable roi de la

nature physique[1] » et le soleil nous apparaît comme la source, non-seulement de la chaleur, de la lumière, de l'électricité qui existent sur le globe, mais encore de tout mouvement qui s'y agite. Nous n'invoquons plus, pour expliquer la différence des formes des êtres organisés, l'intervention constante d'une puissance créatrice toujours prête à modifier son œuvre; les forces physiques que nous voyons agir chaque jour suffisent à donner la raison des modifications observées.

Aussi le spectacle de l'univers a pour nous plus d'intérêt qu'il n'en avait pour ceux qui, venant avant nous, nous ont légué leurs travaux; ils étaient sans doute frappés de la beauté, de la richesse infinie de la nature, ils suivaient avec un intérêt croissant les manifestations de sa puissance dans tous les détails de structure des êtres bruts et animés, mais ils n'avaient pas assisté à l'aurore qui se lève pour nous. Ces détails infinis, cette richesse prodiguée à pleines mains, ces variations sans nombre sont dus cependant à des causes premières peu nombreuses; nous avons, comme nos prédécesseurs, le sentiment de la richesse infinie de la nature, mais nous avons seuls la certitude qu'à l'édification de ses œuvres préside la plus admirable simplicité.

Ces lignes étaient écrites, et nous regrettions en finissant de n'avoir pu placer dans ce rapide aperçu le nom de notre collaborateur Émile Lamé, que ses recherches de haute philosophie avaient un peu écarté de nos études; nous pensions le voir revenir à nous l'an prochain... la mort ne l'a pas voulu, et la séparation que nous espérions

[1] G. Lamé, *Comptes rendus*, tom. 66, p. 986. — 1868.

momentanée est devenue éternelle. Présumant trop de ses forces, apportant à la poursuite de la vérité une ardeur que rien ne pouvait lasser, il a succombé sous le fardeau trop lourd qu'il voulait soulever en ajoutant un nouveau nom à la liste déjà longue des martyrs de la science. Notre plus ancien ami, avec qui nous avions longtemps causé de la publication de ce recueil, dont l'idée lui appartient autant qu'à nous, a quitté ce monde le 7 décembre dernier, laissant dans nos rangs une place qui ne sera jamais comblée. Nul, plus que nous, n'a pu apprécier la grandeur et la profondeur de son esprit, la sûreté de sa critique, la bonté de son cœur, nul ne le regrettera plus que nous.

PIERRE-PAUL DEHÉRAIN.

9 décembre 1863.

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

I

LA GRAVITATION DANS LES SYSTÈMES STELLAIRES

DÉCOUVERTE DES SATELLITES DE SIRIUS

Il y a plus d'un siècle qu'un géomètre, aussi fameux dans le monde savant par la profondeur de ses conceptions que par l'originalité de ses vues, écrivait ces lignes :

« La loi de l'attraction, qui étend son empire sur tout ce qui est matériel, ne souffre point dans l'univers de repos absolu : il y a du mouvement partout ; tous les corps gravitent les uns vers les autres ; tous les rouages de cette grande machine se meuvent ; on n'y connaît point de masses mortes et inutiles. L'univers est un tout, dont les parties ou les divers systèmes ne font qu'un système. Mais ces parties ou ces systèmes ne sauraient être liés que par leur action et réaction réciproque, dont le mouvement est une suite nécessaire[1]. »

Soixante-dix ans plus tard, les prévisions théoriques de Lambert étaient confirmées par les calculs d'un autre astronome français, Savary, qui eut la gloire de déterminer le premier la nature de

[1] Lambert, *Lettres cosmologiques sur l'arrangement de l'univers*, 1761. Augsbourg.

l'orbite que les composantes des étoiles doubles décrivent autour de leur centre commun de gravité.

Dans cet intervalle de moins d'un siècle, pendant que la théorie de la gravitation dans notre monde solaire accomplissait, sous l'impulsion des d'Alembert, des Laplace et des Lagrange, ses derniers et ses plus importants progrès [1], l'astronomie sidérale, grâce aux immenses travaux de laborieux observateurs, sortait de la phase des hypothèses et des tâtonnements pour entrer décidément dans la période positive.

[1] Quelle que soit la manière de concevoir la nature de l'action dite attractive, qu'on regarde comme le principe de tous les mouvements célestes ; quels que soient les progrès ultérieurs de la science à ce sujet, il ne nous semble pas que les lois constatées depuis Newton jusqu'à Laplace puissent en recevoir aucune atteinte. Cela vient de ce que l'assimilation de la gravitation céleste à la pesanteur ne préjuge rien sur la force elle-même que nous nommons ainsi, mais dont nous ne connaissons rien autre chose que les effets.

Existe-t-il un principe universel dont la gravitation ne soit qu'un cas singulier, et qui permette d'expliquer à la fois les phénomènes d'action à grande distance, comme ceux des actions moléculaires ; qui embrasse comme autant d'autres cas spéciaux les mouvements vibratoires lumineux, électriques, magnétiques? C'est ce que l'état actuel de la science permet de présumer, sans qu'il soit encore légitime de rien affirmer à cet égard. M. Lamé, dont les vues en pareille matière sont d'une philosophie aussi large que circonspecte, dans une note fort intéressante et remplie d'aperçus profonds, note publiée dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences, laisse entrevoir que, pour lui, le fluide universel est le fluide éthéré. « La science future, dit-il, reconnaîtra dans l'*éther* le véritable *roi* de la nature physique ; mais ce serait retarder infiniment sa solide installation que de vouloir le couronner dès aujourd'hui. »

MM. F. A. E. et Em. Keller considèrent en particulier l'éther comme la cause des phénomènes de gravitation céleste. S'emparant de ce résultat des travaux de M. Lamé et de M. Cauchy, à savoir que tout ébranlement excité dans un milieu élastique homogène donne naissance à deux systèmes d'ondes, qui se propagent, les unes selon des vibrations perpendiculaires aux rayons et sans changement de densité, les autres selon des vibrations longitudinales produisant des dilatations et condensations alternatives ; partant, dis-je, de ce principe, ces deux savants croient que les ondes condensantes et dilatantes, restées jusqu'ici sans emploi théorique, expliquent la pesanteur et tous les phénomènes attribués à l'attraction universelle.

Toutefois, ils font une distinction entre les corps denses et ceux de faible densité ; de sorte que les planètes, les satellites, les noyaux des comètes resteraient soumis aux lois formulées par les géomètres du dernier siècle, et par l'auteur de la *Mécanique céleste ;* tandis qu'il en serait autrement des nébulosités ou des couches atmosphériques qui les environnent.

(Voir les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences. n^os des 23 mars et 25 mai 1863.)

C'est l'histoire de ce développement que nous nous proposons de passer rapidement en revue dans cette étude, en nous attachant plus particulièrement aux découvertes qui ont permis d'étendre aux systèmes stellaires les lois des mouvements qu'exécutent les corps de notre propre système. L'importance philosophique d'une telle extension ne peut échapper à personne. Mais les progrès de l'astronomie dans cette direction n'eussent-ils pour résultat que de satisfaire cet insatiable besoin de curiosité, qui est la source de nos plus pures jouissances, cela suffirait, pensons-nous, à légitimer l'intérêt du sujet que nous allons traiter.

I

Étoiles doubles et multiples. — Couples optiques et couples physiques. — Nombre et distribution des systèmes d'étoiles.

Quand on examine à l'œil nu, et par une belle nuit, ce qu'on est convenu d'appeler la voûte céleste, la multitude de points brillants dont elle est parsemée semble jetée au hasard, sans ordre apparent, sur la surface de cette voûte.

Tout au plus, distingue-t-on quelques groupes où la condensation des étoiles qui les composent peut être regardée comme l'indice d'une liaison systématique. Tels sont, dans notre ciel boréal, les groupes des Pléiades, des Hyades et du Cancer; et dans l'hémisphère austral, les nuages magellaniques et l'amas du Toucan. Une grande traînée lumineuse, il est vrai, la Voie Lactée, dans laquelle scintille une quantité innombrable de fort petites étoiles, tranche sur le tout et laisse entrevoir un ordre particulier, un arrangement d'une nature toute spéciale.

Examinée à l'aide d'une lunette d'un grossissement moyen chaque étoile apparaît comme un simple point, sans dimensions appréciables, et ne différant des autres étoiles que par l'intensité plus ou moins grande de sa lumière, ou par la nuance de sa couleur propre. La prodigieuse distance à laquelle ces astres se trouvent de nous les a fait assimiler depuis longtemps à autant de soleils, brillant de leur propre lumière, et qui sont probablement les centres d'autant de systèmes de planètes qui se meuvent autour de chacun d'eux. Mais il nous faudra renoncer, sans doute, à tout ja-

mais, quels que soient les perfectionnements des instruments d'optique, à nous assurer directement de l'existence des corps obscurs auxquels nous venons de faire allusion. La lumière réfléchie qu'ils nous envoient des profondeurs de l'espace est et sera toujours trop faible pour produire sur notre rétine une impression perceptible à nos sens.

Si donc l'univers n'était composé que de mondes semblables au nôtre, c'est-à-dire comprenant autour d'un astre unique, lumineux par lui-même, une série de corps obscurs dont les mouvements sont liés au corps central par des dépendances réciproques, il eût été impossible de connaître les lois des autres systèmes. L'identité de ces lois avec celles qui régissent notre monde planétaire, l'universalité de la gravitation auraient pu être posées par quelque hardi généralisateur[1]; mais, privées de la sanction de l'observation et du calcul, elles seraient à jamais restées dans le champ des hypothèses.

Heureusement il n'en est rien. Grâce aux progrès de l'optique et aux admirables instruments qui ont centuplé la puissance et la netteté de la vue de l'homme, l'observation a mis hors de doute l'existence de nombreux systèmes, plus variés que le nôtre, composés soit de deux, soit même de plusieurs soleils, dont la lumière directe arrive jusqu'à nous, séparée par le télescope en autant de points lumineux. En un mot, parmi ces innombrables soleils que nous présente la voûte céleste, et que la vue simple ou une lunette d'une puissance insuffisante nous fait voir comme autant d'étoiles uniques, il en est un grand nombre qui, en réalité, se composent de deux, trois ou quatre, et même de six étoiles distinctes.

C'est du milieu du dix-huitième siècle que datent les premières observations d'étoiles doubles. A la rigueur, on pourrait faire remonter cette découverte à Galilée; mais les couples d'étoiles que le grand astronome a signalés ne sont évidemment pas de vraies étoiles doubles, mais bien des couples optiques, c'est-à-dire formés de points lumineux rapprochés par un simple effet de perspective.

Ceci nous amène à faire dès maintenant une distinction fondamentale. Les astronomes appellent étoiles *doubles optiques*, ou encore *couples optiques*, les étoiles qui se trouvent groupées de la

[1] Elles l'ont été en effet, non-seulement par Lambert, mais par Kant, par Michell et par Christian Mayer.

sorte par l'effet de leur projection apparente sur le plan perpendiculaire au rayon visuel, ou encore, mais alors provisoirement, aux groupes dont la dépendance n'a pas été jusqu'ici démontrée. Ils nomment, au contraire, *couples physiques* les étoiles doubles dont les composantes forment un système réel; nous dirons plus loin à quels caractères on reconnaît les couples physiques.

Un mot du nombre des étoiles doubles actuellement connues.

Vers 1750, on connaissait à peine 20 étoiles doubles : Kirch, Bradley, Flamsteed, Tobie Mayer ont attaché leurs noms à ces premières et importantes découvertes, dont le nombre s'accrut depuis rapidement. Parmi ces premiers couples se trouvent deux étoiles fameuses dans les fastes de l'astronomie : la 61e de la constellation du Cygne et Alpha du Centaure, dont les distances à notre monde solaire, récemment calculées, ont fourni les premiers éléments certains des effrayantes dimensions de l'univers visible[1].

Vint ensuite Christian Mayer, qui soupçonna la nature des relations qui lient les étoiles composantes de chaque groupe : il publia un catalogue de 80 étoiles doubles. C'est alors que William Herschel, appliquant à ce sujet intéressant ses brillantes facultés d'observation, non moins puissantes que ses instruments, consacra vingt-cinq années à la détermination de plus de 800 couples, dont il publia le catalogue général en 1804. Les deux Struve, Bessel, Argelander, Encke et Gall, Preuss et Mœdler ont peu à peu recensé les étoiles doubles du ciel visible en Europe, pendant que le digne fils de l'illustre astronome de Slough, sir John Herschel, explorait l'hémisphère austral, au cap de Bonne-Espérance.

Aujourd'hui, le nombre total des étoiles doubles cataloguées s'élève à environ 6,000. Mais tout fait présumer que ce nombre ira croissant encore, soit qu'on soumette à un nouvel examen des étoiles déjà recensées et regardées jusqu'ici comme simples, soit que l'observation embrasse de nouvelles étoiles.

Pour donner une idée de la quantité de soleils doubles que peut contenir en moyenne un nombre donné d'étoiles quelconques, ci-

[1] Alpha du Centaure est la plus voisine des étoiles dont la distance à notre système ait pu être mesurée. Cette distance est égale à 200,000 fois le rayon moyen de l'orbite terrestre. La 61e du Cygne vient ensuite dans l'ordre des distances, trois fois plus éloignée que la première. On sait qu'à raison de 300,000 kilomètres par seconde, la lumière mettrait neuf années à franchir le dernier de ces intervalles.

tons le catalogue publié par Struve en 1837. Il renferme 2,787 de ces couples, obtenus par l'examen minutieux d'environ 120,000 étoiles. On le voit, c'est à fort peu près 1 couple par 40 étoiles.

On a compris sans doute que la résolution, le dédoublement d'un point lumineux, paraissant unique à la vue ordinaire ou à l'aide d'une lunette d'un faible grossissement, que cette sorte de résolution, dis-je, en deux ou trois points distincts, est obtenue par l'emploi d'instruments d'une grande ouverture, et dont les miroirs ou les objectifs sont construits avec une grande précision. Ces instruments, concentrant à leur foyer optique une grande quantité de lumière, s'ils donnent en même temps des images très-nettes des objets observés, permettront par cela même l'emploi de grossissements plus considérables.

Il est des étoiles dont le dédoublement est extrêmement difficile, d'autres qui cèdent aux instruments de moyenne puissance. La raison de cette différence est facile à saisir. La distance apparente des deux composantes est, en effet, fort variable suivant les groupes. Aussi les astronomes en ont-ils fait des classes rangées par ordre de distances croissantes, depuis 1″ d'arc jusqu'à 32″ [1]. Au delà, deux étoiles voisines ne peuvent plus être, à proprement parler, considérées comme des étoiles doubles. Déjà, en effet, un angle de 32″, vu de la Terre à la distance minimum qui nous sépare des étoiles, correspond à un éloignement réel entre les deux étoiles d'environ 32 fois le rayon moyen de l'orbite terrestre, ou, si l'on veut, d'un milliard cent millions de lieues de 4 kilomètres. Il n'est pas rigoureusement impossible, cependant, que des couples physiques aient leurs composantes beaucoup plus éloignées encore.

Parmi les étoiles très-difficiles à dédoubler, les astronomes citent Epsilon du Bélier, Hêta d'Hercule et Tau du Serpentaire. Aussi servent-elles à juger du degré d'efficacité des instruments : ce sont, suivant une pittoresque expression de John Herschel, empruntée

[1] On entend ici par distance l'écartement angulaire des deux rayons visuels qui, de l'œil de l'observateur, aboutissent aux deux étoiles composantes d'un groupe. Quant à la distance réelle, exprimée, je suppose, en lieues, elle dépend à la fois, et de cet écartement angulaire, et de l'inclinaison sous laquelle nous voyons la ligne droite qui les unit, et enfin de la distance vraie qui nous sépare du système. On verra plus loin qu'il est un certain nombre de couples pour lesquels ces éléments sont, aujourd'hui, approximativement connus.

au langage des chimistes, « d'excellents réactifs pour l'essai des télescopes. »

Nous n'avons jusqu'ici parlé que des étoiles doubles; mais on connaît aussi un certain nombre de groupes triples et quadruples. Le plus curieux échantillon de ces systèmes de soleils est, sans contredit, l'étoile Thêta de la splendide constellation d'Orion. Examinée avec les plus puissants télescopes, elle se résout en quatre étoiles principales d'inégal éclat, rangées en forme de trapèze : deux de celles-ci sont elles-mêmes accompagnées d'étoiles très-petites et excessivement rapprochées. Voilà donc un soleil sextuple, ou plutôt un système de six soleils, groupés dans un espace qui ne laisse voir au premier aspect qu'une simple étoile de quatrième grandeur.

Les composantes des étoiles doubles et multiples n'ont pas été rangées seulement par ordre de distances apparentes, comme nous l'avons vu plus haut. Les astronomes les ont aussi distinguées d'après leurs couleurs et d'après le degré de leurs colorations. Sur 600 couples examinés par Struve, sous ces deux points de vue, il en a trouvé 375 dont les deux composantes ont à la fois même couleur au même degré d'intensité; 101 couples ont la même teinte sans avoir la même intensité; 120 diffèrent complétement de couleurs.

Mais passons rapidement sur l'intéressante question des couleurs des étoiles doubles, où l'on rencontre les nuances les plus diverses, associées de la façon la plus variée, pour arriver aux questions qui font plus particulièrement l'objet de cet article.

Les étoiles doubles ou multiples forment-elles réellement autant de groupes réels, de systèmes en un mot dont les éléments ont entre eux une dépendance physique ?

Si, comme nous l'avons fait pressentir, il y a lieu de distinguer les étoiles doubles en couples optiques et en couples physiques, à quels caractères cette distinction est-elle reconnaissable ?

Enfin, de quelle nature sont les mouvements exécutés par les éléments des systèmes stellaires, et quelles lois régissent ces mouvements ?

Ce sont ces questions que nous allons maintenant examiner.

II

Caractères distinctifs des étoiles doubles optiques et des étoiles doubles physiques. La gravitation régit les systèmes de soleils.

Pour saisir avec netteté les considérations qui vont suivre, pour comprendre toute la complexité des problèmes dont nous venons de donner l'énoncé sommaire, pour expliquer enfin la lenteur avec laquelle se sont fait attendre des solutions vraiment mathématiques et positives, il est nécessaire de rappeler quelques faits dont l'authenticité ne fait, d'ailleurs, aucun doute en astronomie.

Aujourd'hui encore, on est habitué à donner aux astres qui ne font pas partie de notre système solaire le nom d'*étoiles fixes*. Cette dénomination inexacte a pour origine l'opinion fort ancienne que les étoiles conservent, par rapport à nous, les mêmes distances relatives. De là l'idée que les divisions arbitraires du ciel, ou constellations, présentent des figures de forme invariable, absolument comme si les étoiles demeuraient à jamais immobiles, fixées à la surface d'une voûte matérielle.

La découverte de la précession des équinoxes ne pouvait ébranler cette idée de la fixité des étoiles. Ce phénomène, dû à un déplacement périodique de la ligne des pôles de notre globe, a bien pour corrélatif nécessaire un mouvement graduel apparent des étoiles en ascension droite et en déclinaison [1]. Ou encore, en rapportant la position des étoiles au plan dans lequel se meut la Terre, il en résulte bien une variation progressive et à peu près constante en longitude [2]. Mais comme tous les astres participent, à la fois et en bloc, à ce déplacement, leurs positions relatives n'en sont point altérées.

Il en est de même des changements de position dus à la nutation.

[1] Il n'est pas besoin, je pense, de rappeler que l'*ascension droite* et la *déclinaison* d'un astre sont les deux coordonnées à l'aide desquelles on détermine la position de cet astre sur la sphère idéale du ciel, par rapport au plan de notre équateur.

Ces deux éléments sont les analogues des coordonnées géographiques terrestres connues sous le nom de *longitude* et de *latitude*.

[2] La *longitude* et la *latitude* célestes sont les coordonnées d'un astre rapportées au plan de l'orbite terrestre.

D'ailleurs, dès 1749, d'Alembert a démontré que la précession des équinoxes, comme la nutation, sont dues à deux mouvements simultanés de l'axe de la Terre, dont il faut rattacher la cause à la gravitation newtonienne.

Un autre mouvement apparent et périodique des étoiles est dû à la combinaison de la vitesse de la Terre dans son orbite et de la vitesse des rayons lumineux : je veux parler de l'*aberration*. En vertu de cette combinaison, chaque étoile semble décrire en une année, autour du point qui représente sa position réelle, une petite orbite elliptique d'une amplitude constante. Mais ce n'est là qu'un phénomène purement optique, et qui n'entraîne aucune conséquence, relativement à l'importante question de la fixité ou de la non-fixité des étoiles.

Il était nécessaire, je le répète, de mentionner ces points délicats de l'astronomie sidérale, pour faire bien comprendre toute la difficulté que comporte ce problème. Chacun des phénomènes que nous venons d'énumérer rapidement nécessite en effet une correction préalable, toutes les fois qu'il s'agit d'évaluer avec précision le lieu qu'occupe un point lumineux sur la voûte étoilée. Cette évaluation précise est indispensable quand on veut savoir si ce point lumineux possède un mouvement propre. Or les variations réelles qu'il s'agissait de constater sont du même ordre de petitesse que ces variations apparentes. Qu'on y ajoute maintenant les corrections qui dépendent de la déviation subie par les rayons de lumière en traversant l'atmosphère terrestre, et l'on se fera enfin une juste idée des difficultés sur lesquelles nous insistons.

Nous pouvons maintenant aborder le problème, tel que se le sont posé les habiles observateurs qui ont étudié les mouvements propres des étoiles, et qui ont cherché à démêler dans ces mouvements la part qui est due au déplacement réel des astres qu'on appelait autrefois les étoiles fixes.

Le nom de W. Herschel est le premier qu'on rencontre dans l'histoire de la découverte des déplacements relatifs des étoiles. A la vérité, c'est sous l'impression d'autres idées qu'il fut conduit à l'examen et à l'étude de ces déplacements. Préoccupé de la solution d'un problème non moins important, celui de la détermination des distances des étoiles, il chercha d'abord à faire dépendre cette solution du mouvement relatif apparent que devait produire, dans deux étoiles optiquement voisines, le cheminement de la Terre

le long de son orbite annuelle. Comme il arrive souvent en pareille circonstance, en cherchant un objet, il en trouva un autre.

Imaginons, s'était-il dit, que les deux composantes d'une étoile double soient réellement indépendantes ; qu'elles ne nous paraissent voisines que par un simple effet de projection ou de perspective, et qu'en réalité elles soient à des distances très-différentes de la Terre. Le déplacement de notre globe dans l'espace devra produire sur chacune d'elles un certain mouvement apparent ; mais le mouvement de la plus voisine sera beaucoup plus considérable que celui de la plus éloignée. En outre, après s'être éloignées, je suppose, pendant six mois, elles devront se rapprocher de la même manière pendant les six autres mois de l'année, d'où résultera évidemment une sorte d'oscillation annuelle du couple.

Herschel ne trouva rien de pareil. Il était donné à ses successeurs de mener à bout la solution du problème particulier qu'il s'était posé, et cela, par une méthode qui a d'ailleurs avec la sienne une grande analogie.

Mais s'il échoua de ce côté, la conclusion qu'il tira de ses laborieuses observations le récompensa amplement. Au lieu d'un déplacement alternatif, il découvrit une série de variations progressives qui mettent hors de doute l'existence des mouvements relatifs ou réels des composantes des étoiles doubles.

« Doué de la plus vive imagination, dit Humboldt dans son *Cosmos*, et malgré cela, procédant toujours avec une extrême réserve, ce ne fut qu'en 1794 qu'Herschel osa exprimer ses idées sur la nature des relations qui peuvent exister entre l'étoile principale et le compagnon, et établir enfin une distinction profonde entre les étoiles doubles physiques et les étoiles doubles optiques. Neuf ans plus tard, il développa la connexité générale de ces phénomènes, dans le 93e volume des *Philosophical transactions*. La science était désormais en possession d'une théorie complète de ces systèmes partiels, où nous voyons des soleils tourner autour de leur centre de gravité commun. »

C'était confirmer de la façon la plus éclatante les vues de Kant, de Lambert[1] et de Michell. Mais, au lieu de se borner, comme eux,

[1] « En observant les groupes où les étoiles sont très-condensées, on décidera peut-être s'il n'y a pas des fixes qui fassent en assez peu de temps leurs révolutions autour d'un centre de gravité commun. » (*Lettres cosmologiques.*)

aux indications d'une analogie, profonde il est vrai, mais insuffisante, ou aux déductions que fournit le calcul des probabilités, le grand astronome de Slough avait assis son opinion sur la base irréfutable d'une accumulation de faits observés, qu'il avait discutés avec sa sagacité accoutumée.

C'est en 1803, comme on vient de le voir, qu'il annonça décidément au monde savant cette grande découverte.

Depuis, les travaux d'un grand nombre d'astronomes, parmi lesquels il faut citer en première ligne Bessel, Struve et Argelander, ont peu à peu accru le nombre des systèmes d'étoiles doubles auxquels on a donné le nom de couples physiques, par opposition aux couples purement optiques.

Si les caractères distinctifs de ces deux genres de couples son difficiles à établir par l'observation, il est aisé du moins de faire voir en quoi ils consistent essentiellement. Arrêtons-nous encore un instant sur ce point.

Nous venons de voir qu'on a fini par constater les mouvements propres d'un grand nombre d'étoiles. En général, ces mouvements sont très-inégaux, soit en vitesse apparente, soit en direction. C'est un fait qu'on pouvait aisément prévoir, et qui résulte nécessairement de l'inégalité des distances où elles se trouvent situées. Si, comme cela est aujourd'hui démontré, une partie de ces mouvements est due au mouvement de translation du système solaire dans l'espace, il est tout naturel que les étoiles les plus voisines éprouvent relativement à nous un déplacement plus prononcé. Si, en outre, une autre partie de ces mouvements doit être attribuée à des changements de place propres aux étoiles mêmes, ce sont encore les étoiles les plus voisines qui offriront les mouvements les plus prononcés.

Dans ces deux hypothèses, également vraisemblables, remarquons toutefois que les déplacements dont il s'agit devront avoir lieu dans des directions qui pourront être variables, mais en présentant tous ce caractère commun de s'effectuer suivant des lignes droites. C'est là le genre de mouvement propre qu'affecteront spécialement les étoiles doubles purement optiques, tandis que les trajectoires parcourues par les composantes d'un couple physique doivent offrir le caractère d'orbites concaves par rapport au foyer commun du mouvement.

Comment s'étonner, en présence de la complexité résultant de

la simultanéité de ces divers mouvements, qu'on n'ait déterminé jusqu'ici qu'un nombre relativement faible de systèmes véritables?

D'après Mædler, on connaissait seulement, en 1836, sur 2,640 étoiles doubles, 58 couples dont les composantes eussent éprouvé des déplacements orbitaires bien constatés. 105 autres couples pouvaient être vraisemblablement rangés dans la même catégorie. Mais dès 1849, le nombre des systèmes stellaires s'était accru dans une notable proportion. On comptait 650 couples physiques sur un nombre total de 6,000 étoiles doubles : le rapport a donc augmenté dans la proportion de 9 à 16.

Quant à la détermination de l'orbite décrite par une des composantes d'un système autour de l'étoile principale, elle est très-simple à concevoir.

En prenant l'étoile principale pour point fixe de comparaison, il s'agit de mesurer, à des époques successives, la position de l'autre étoile, en direction comme en distance. Supposons qu'on ait fixé au foyer du télescope deux fils dont l'intersection coïncide avec l'étoile principale, l'un des fils conservant une position constante, tandis que l'autre peut se mouvoir angulairement autour de l'intersection commune. A l'aide de ce système, il sera possible de constater le changement progressif de direction de l'étoile que l'on considère comme satellite ou le compagnon de l'autre. Un autre système de deux fils parallèles, formant ce qu'on nomme un micromètre, permettra de mesurer les variations de distance le long du rayon vecteur de l'orbite.

On peut ainsi, par quatre observations faites à des intervalles de temps suffisamment éloignés, calculer les éléments de la courbe apparente décrite par l'une des étoiles autour de l'autre. Je dis *apparente*, parce qu'il est bien évident, qu'à moins d'un cas exceptionnel, le plan de cet orbite étant incliné sur le rayon visuel qui aboutit au centre du système, c'est la projection de la courbe sur ce plan qu'on observe ainsi, non la courbe elle-même. Le cas exceptionnel auquel nous venons de faire allusion, est celui où le plan se présente à nous de face, c'est-à-dire perpendiculairement au rayon visuel. Un autre cas extrême peut se présenter et s'est présenté en effet[1] : c'est celui où le plan de la courbe passe par l'œil de l'observateur. Alors le mouvement des composantes paraît

[1] Pour l'étoile double Zêta de la constellation d'Hercule.

s'effectuer en ligne droite, ou du moins, à peu de chose près, de part et d'autre du centre de gravité commun.

On conçoit, entre ces deux cas, toutes les inclinaisons possibles du plan de l'orbite.

Telle est, en peu de mots, la méthode qui a servi à calculer les mouvements de révolution des systèmes stellaires. Appliquée pour la première fois par Savary, qui en fit l'objet d'une notice fort intéressante dans la *Connaissance des Temps* pour 1830, elle a été reprise et successivement modifiée par plusieurs astronomes géomètres, Encke, John Herschel, Bessel, les Struve, Mædler, Hind, Smith, Jacob, Yvon Villarceau.

Mais ce qui précède ne donnerait de la méthode en question qu'une idée fort incomplète, si nous n'ajoutions que tous les calculs effectués pour la détermination des orbites reposent sur un principe fondamental. Ce principe n'est autre chose que celui de la gravitation, s'exerçant, entre les corps célestes, en raison directe des masses et inverse du carré des distances.

Or, la légitimité de cette application d'une loi qui pouvait fort bien ne pas s'appliquer aux systèmes stellaires, a été soumise à des vérifications décisives. Désormais l'universalité de cette grande loi est hors de toute contestation.

On va comprendre pourquoi.

Qu'à l'aide des quatre observations servant de point de départ aux calculs des géomètres, l'hypothèse de la gravitation ait conduit à la détermination d'une orbite, c'est là un fait qui n'a rien de surprenant et qui ne témoignait ni pour ni contre l'hypothèse. Mais si, la courbe une fois calculée au moyen de ces premiers éléments, toutes les observations ultérieures sont venues concorder avec l'orbite calculée, et cela dans les limites des erreurs inhérentes aux observations mêmes, alors, il n'y a plus de doute, l'hypothèse était légitime. D'ailleurs, c'est au fond la méthode employée pour les corps nouvellement découverts dans notre système solaire. Un certain nombre d'observations prises à des époques distinctes permettent le calcul des éléments de l'orbite, au moyen de formules déduites de la loi de gravitation. Ces éléments eux-mêmes servent à la formation des éphémérides de l'astre, c'est-à-dire à la prédiction des positions apparentes qu'il occupera à des époques déterminées, et les observations ultérieures doivent cadrer avec ces prédictions mêmes. Enfin, si quelques divergences

se manifestent dans certaines limites, elles sont utiles pour la rectification des éléments primitivement calculés, ou bien elles indiquent l'existence de perturbations dont il restera à chercher l'origine.

Telles sont précisément les circonstances qui se sont présentées pour la détermination des orbites d'étoiles doubles, et qui ont permis de conclure à la légitimité de l'hypothèse, c'est-à-dire à l'existence de véritables systèmes d'étoiles, régis, comme le système solaire dont nous faisons partie, par les lois de la gravitation.

Cet immense résultat peut être, sans contredit, considéré comme une des plus belles conquêtes de la science moderne. Il fonde désormais l'astronomie sidérale sur des bases solides, et Humboldt a pu dire, sans craindre qu'on accuse son enthousiasme d'exagération : « La connaissance de ces systèmes partiels, où des mouvements s'accomplissent en dehors de toute influence extérieure, ouvre à la pensée un champ d'autant plus large, que déjà ces systèmes apparaissent, à leur tour, comme de simples détails, dans le vaste ensemble des mouvements qui animent les corps répandus dans les espaces célestes. »

III

Périodes de révolution et éléments elliptiques de quelques systèmes d'étoiles doubles. Les compagnons de Procyon et de Sirius.

Donnons maintenant quelques-uns des principaux résultats obtenus à l'aide des méthodes dont on vient de lire le rapide exposé.

Nous parlerons en premier lieu de l'étoile Xi de la constellation de la Grande-Ourse, parce que c'est la première à laquelle aient été appliqués les calculs[1], et que son orbite est une des mieux déterminées. Les deux composantes de cette étoile sont, l'une de quatrième, l'autre de cinquième grandeur. La période de révolution de la plus petite composante autour de la principale est d'un peu plus de soixante et un ans. Comme les plus anciennes observations de ce système remontent à l'année 1782, il faut en conclure que depuis cette époque une première révolution s'est entiè-

[1] Savary.

rement accomplie, et que l'étoile secondaire est sur le point d'achever le tiers de la deuxième.

Un des éléments caractéristiques des orbites elliptiques est l'excentricité[1] qui sert de mesure au degré d'allongement de la courbe. Or l'excentricité de l'orbite de Xi de la Grande-Ourse est égale à 0,43, tandis que, parmi les grandes planètes de notre système solaire, la plus grande excentricité, celle de Mercure, ne dépasse pas 0,20, et que, parmi les planètes télescopiques, l'excentricité la plus considérable ne s'élève qu'à 0,33. Il s'agit donc là d'une orbite de forme allongée qui se rapproche beaucoup de celles des comètes périodiques de notre système.

Mais il en est qui s'en rapprochent plus encore.

Telle est l'orbite décrite par le compagnon de la belle étoile de première grandeur Alpha du Centaure. Son excentricité est 0,71, et la durée de sa révolution dépasse soixante-dix-huit années. Ce qui ajoute à l'intérêt de ces éléments, c'est que, la distance de ce système à la Terre étant connue, il a été possible de calculer les dimensions véritables de l'orbite, dont le demi-grand axe mesure environ 410 millions de lieues de 4 kilomètres. En comparant ces nombres à ceux qui expriment la distance des planètes à notre Soleil, on voit que l'orbite du compagnon d'Alpha du Centaure, rapportée au foyer du système solaire, serait comprise entre les courbes décrites par Saturne et par Uranus. Le même calcul, appliqué aux deux étoiles dont se compose la soixante et unième de la constellation du Cygne, donne une orbite dont le rayon moyen est environ quarante-cinq fois aussi grand que celui de l'orbite terrestre[2], et qui est parcourue par l'étoile satellite en plus de quatre cent cinquante ans.

Mais une conséquence plus intéressante encore de ces derniers faits, combinée avec l'extension désormais établie de la gravitation aux systèmes stellaires, c'est qu'on peut calculer avec une certaine approximation la somme des masses des deux composantes; c'est ainsi que les masses réunies des deux soleils qui forment la soixante et unième étoile du Cygne sont égales aux 353 millièmes de la masse de notre propre Soleil.

[1] L'*excentricité* est le rapport numérique qui existe entre la distance du centre au foyer de l'ellipse, et le demi-grand axe de la même courbe.

[2] Un milliard 530 millions de lieues.

Certes, les résultats étonnants que nous constatons ici laissent à désirer sous le rapport de la précision. Il faudra encore de nombreuses et délicates observations pour resserrer les éléments calculés dans d'étroites limites d'incertitude. Mais tels qu'ils sont aujourd'hui connus, ils suffisent pour démontrer le principe et pour mériter toute l'attention des savants philosophes.

Nous savons qu'il est bon nombre d'esprits qui trouveront cette marche de la science lente et embarrassée, qui penseront qu'il n'était pas besoin de si longs calculs et de tant de recherches délicates pour conclure à l'universalité des lois de la gravitation. Partisans de la généralisation à outrance, ils eussent préféré sans doute qu'on s'en tînt aux prévisions hardies de Lambert et de Kant. Mais la sévérité des méthodes scientifiques ne saurait s'accommoder du procédé de ces intelligences primesautières, et, en se montrant un peu dédaigneuse des systèmes préconçus, il faut avouer que la science agit sagement[1]. L'histoire des erreurs et des préjugés politiques et sociaux le démontre avec évidence : autant la routine est funeste au vrai progrès, autant l'imagination déréglée, privée du lest de la méthode, entrave l'essor des sciences. Pour une vérité ainsi entrevue, que d'hypothèses erronées et partant nuisibles!

Revenons à nos systèmes de soleils.

Nous citerons encore, parmi les plus remarquables, l'étoile Rhô d'Ophiuchus, qui accomplit sa période en quatre-vingt-douze ans; Zèta d'Hercule, en trente-six ans; Hêta de la Couronne, en soixante-six années; enfin Gamma de la Vierge, qui est composée de deux étoiles de troisième grandeur, blanches toutes deux, et lé-

[1] Si cette manière de voir n'avait pas en elle-même sa logique et sa raison d'être, nous l'appuierions au besoin de l'autorité d'un nom. Arago s'exprime ainsi dans le premier volume de son *Astronomie populaire :*

« Cette célèbre attraction newtonienne, dont l'*universalité* n'était jusqu'ici établie que jusqu'aux limites de l'espace embrassé par la planète la plus éloignée du soleil, c'est-à-dire par Neptune, devient *universelle* dans toute l'acception grammaticale de ce terme. Il ne faut pas croire qu'on pouvait, sans aucun scrupule, donner cette extension indéfinie à la découverte de Newton. L'existence de l'attraction, dans toutes les parties du système composé du Soleil et des planètes qui l'entourent, était un fait capital, dont on avait découvert les lois et suivi les conséquences avec un succès merveilleux ; mais il n'en résultait pas que la vertu attractive fût inhérente à la matière, que de grands corps ne pussent pas exister dans d'autres régions, dans d'autres systèmes, sans s'attirer mutuellement. A plus forte raison, n'aurait-on pas eu le droit de se prononcer sur la généralité de la loi du carré des distances. »

gèrement variables d'éclat. La période de ce dernier système est de cent cinquante-quatre ans.

On voit par ces exemples, et par ceux que nous avons cités plus haut, que les durées des révolutions sont très-différentes. Depuis Zêta d'Hercule, où cette durée ne dépasse guère trente années, jusqu'à la soixante et unième du Cygne, où elle est voisine de cinq siècles, on trouve une série de durées intermédiaires dont la progression se complétera sans doute de plus en plus, au fur et à mesure des progrès de l'astronomie sidérale.

Mais il est temps de signaler une des découvertes les plus intéressantes et les plus récentes de la science contemporaine.

L'étoile la plus brillante de tout le ciel, Sirius, attirait depuis longtemps l'attention des astronomes par les particularités que présentait son mouvement propre.

En étudiant avec un soin minutieux un grand nombre d'observations de cette étoile remarquable, Bessel parvint à constater une variation périodique de son ascension droite. L'illustre astronome de Kœnigsberg crut devoir conclure à l'action perturbatrice d'un satellite dont l'observation n'avait pu encore vérifier l'existence, soit que ce satellite fût un corps obscur, ou du moins seulement éclairé par le soleil central, soit qu'il fût un soleil secondaire dont la lumière se confondît dans les rayons éblouissants de Sirius lui-même. C'est en 1844 que Bessel publia le résultat de ses travaux sur ce sujet, dans un Mémoire qui portait ce titre : « *Sur la variabilité du mouvement propre des étoiles fixes,* » « travail également admirable, dit Struve[1], par la profondeur de la théorie et par l'application nouvelle des riches matériaux que lui avaient fournis ses observations et ses calculs. »

Depuis, Peters, Auwers et Safford s'appliquèrent à élucider le même problème, et, en 1851, le premier de ces savants calcula l'orbite du satellite inconnu. Il démontra que les variations périodiques en ascension droite s'expliqueraient en admettant que Sirius décrit, dans une période de cinquante années, une ellipse dont le demi-grand axe serait vu de la Terre sous un angle d'environ 2″ 4.

Un travail du même genre, exécuté sur une autre étoile de pre-

[1] *Études d'astronomie stellaire,* Saint-Pétersbourg, 1847.

mière grandeur, Procyon, parut devoir conclure à des considérations analogues. Mais il faut dire aussi que ces considérations furent combattues par des astronomes d'un grand mérite, parmi lesquels on compta Struve lui-même.

La question en était là.

Les meilleurs instruments appliqués à Sirius ne permettaient pas de constater par l'observation la présence du compagnon théorique annoncé par Bessel et calculé par Peters, lorsque dans la soirée du 31 janvier 1862, un astronome américain de l'observatoire de Cambridge, M. Clark, l'aperçut enfin à l'aide d'une nouvelle et puissante lunette de 47 centimètres d'ouverture. Peu de temps après, MM. Chacornac, à Paris, et Lassell, à Malte, confirmèrent cette brillante découverte.

Ajoutons que la position du compagnon de Sirius, aux époques où il fut observé, s'accordait sensiblement avec celle qu'on pouvait déduire de l'orbite calculée par Peters.

Maintenant est-il vrai, comme on l'a annoncé depuis, que Sirius soit une étoile multiple, qu'au lieu d'un seul compagnon ce splendide soleil en ait quatre, cinq ou six? on nous permettra d'en douter. Non pas que nous soupçonnions l'habileté de l'observateur émérite [1] qui a lui-même annoncé ces résultats extraordinaires, mais les distances assignées aux points lumineux dont il s'agit, dépassent les dimensions présumables d'un tel système, et, provisoirement, si l'observation est confirmée, il paraît probable qu'il ne s'agit que d'étoiles projetées optiquement dans le voisinage de Sirius.

En résumé, il est nettement établi, par les faits comme par le calcul, que les lois de gravitation qui régissent les mouvements des corps composant notre système planétaire sont aussi les lois des systèmes d'étoiles doubles. S'appliquent-elles pareillement aux groupes composés de trois, de quatre, ou d'un plus grand nombre de soleils? c'est ce que l'on ne sait pas encore ; mais en attendant que les faits prononcent, ce n'est pas s'écarter des règles de la prudence que de conclure ici, par analogie, à l'universalité du principe.

« Probablement, dit Humboldt, l'étoile sextuple Thêta d'Orion constitue un véritable système, car les cinq petites étoiles partagent

[1] M. Goldschmith

le mouvement propre de l'étoile principale. » C'est là une probabilité, mais non encore une certitude, puisqu'on n'a constaté aucun déplacement relatif des composantes. « Déjà, cependant, c'est Arago qui parle, les observations ont montré que dans Zêta de l'Écrevisse, les deux faibles étoiles tournent autour de la principale. Pour Psi de Cassiopée, qui se compose d'une étoile assez brillante et de deux petites étoiles excessivement rapprochées entre elles, il est probable qu'on verra ces dernières circuler l'une autour de l'autre, et leur ensemble tourner autour de l'étoile brillante. »

Il y a toutefois à faire entre ces systèmes et le nôtre une distinction importante. Tandis que les astres secondaires gravitant autour de notre soleil sont des corps obscurs, dans les systèmes d'étoiles ce sont des corps de même nature que le soleil principal et brillant de leur propre lumière qui tournent autour de leur centre commun de gravité. Si l'on suppose que chacun d'eux soit accompagné d'une série de planètes et de leurs satellites, l'action commune des deux soleils principaux sur ces astres secondaires doit donner lieu à des phénomènes de mouvements, à des perturbations extrêmement complexes. Les influences combinées de deux ou de plusieurs sources de chaleur et de lumière, tantôt simultanées, tantôt successives, la diversité des couleurs dont brillent les jours de ces corps planétaires, ne peuvent qu'ajouter encore à la singularité des systèmes. Mais il n'y a rien dans ces conséquences qui doive étonner ceux qui savent combien la puissance de la nature, si simple dans son principe, est variée dans ses manifestations phénoménales.

Amédée Guillemin.

II

CONSTITUTION PHYSIQUE ET CHIMIQUE DU SOLEIL

M. KIRSCHHOFF, M. MITSCHERLICH.

Premières idées sur la nature du Soleil. — Les taches. — Fabricius. — Galilée. — Wilson. — Opinions admises par les astronomes. — Analyse spectrale. — Le Soleil présente un noyau incandescent, entouré d'une lourde atmosphère; il n'est pas habitable par des êtres semblables à ceux qui vivent sur la terre.

« Qu'on me demande, disait Arago, si le Soleil est habité, et je répondrai que je n'en sais rien; mais qu'on me demande si le soleil peut être habité par des êtres organisés d'une manière analogue à ceux qui peuplent notre globe, je n'hésiterai pas à faire une réponse affirmative[1]. » L'opinion des savants est aujourd'hui complétement différente; nous nions absolument que le soleil puisse être habité par des êtres semblables à nous, et il importe d'indiquer comment a pu se produire un changement aussi radical dans nos hypothèses. Aussi, bien que nous ayons déjà entretenu les lecteurs de l'*Annuaire* des belles découvertes relatives à l'analyse spectrale[2], nous n'hésitons pas à y revenir aujourd'hui qu'on peut apprécier dans toute leur importance les résultats acquis par cette nouvelle méthode de recherche.

L'idée que le Soleil est un corps incandescent se présente si naturellement à l'esprit, qu'elle fut admise dès l'origine des observations astronomiques, et soutenue notamment par les philosophes grecs. Quand commença la renaissance des sciences expérimentales, et qu'on voulut observer plus attentivement le Soleil, on ne tarda pas à découvrir que sa surface ne présente pas un éclat uniforme, et Fabricius le premier y remarqua des parties sombres, qu'il désigna sous le nom de taches.

« Nous imaginâmes, dit-il, de recevoir les rayons du Soleil par un petit trou, dans une chambre obscure et sur un papier blanc, et nous y vîmes très-bien une tache en forme de nuage allongé.

[1] *Astronomie populaire*, tome II, page 181.
[2] *Annuaire scientifique*, Ire année, page 1; 2e année, page 81 et 278.

Le mauvais temps nous empêcha de continuer ces observations pendant trois jours. Au bout de ce temps, nous vîmes la tache qui s'était avancée obliquement vers l'Occident. Nous en aperçûmes une autre plus petite vers le bord du Soleil, qui, dans l'espace de peu de jours, parvint jusqu'au milieu; enfin il en survint une troisième; la première disparut d'abord, et les autres quelques jours après. Je flottais entre l'espérance et la crainte de ne pas les revoir, mais dix jours après la première reparut à l'orient. Je compris alors qu'elle faisait une révolution, et depuis le commencement de l'année je me suis confirmé dans cette idée, et j'ai fait voir ces taches à d'autres qui en sont persuadés comme moi. Cependant, j'avais un doute qui m'empêcha d'abord d'écrire sur ce sujet et qui me faisait même repentir du temps que j'avais employé à ces observations. Je voyais que ces taches ne conservaient pas entre elles les mêmes distances; qu'elles changeaient de forme et de vitesse; mais j'eus d'autant plus de plaisir lorsque j'en eus senti la raison. Comme il est vraisemblable, par ces observations, que ces taches sont sur le corps même du Soleil, qui est sphérique et solide, elles doivent devenir plus petites et ralentir leur mouvement lorsqu'elles arrivent sur les bords du Soleil. »

Galilée n'hésita pas sur l'explication; il considéra les taches observées par Fabricius comme des nuages qui nagent dans l'atmosphère gazeuse du soleil et qui apparaissent comme des taches sur le noyau brillant du Soleil : « Si la Terre, » dit-il, « était lumineuse par elle-même et qu'on l'examinât de loin, elle offrirait les mêmes apparences que le Soleil; suivant que telle ou telle région se trouverait derrière un nuage, on apercevrait des taches, tantôt dans une portion du disque, tantôt dans une portion différente; la plus ou moins grande opacité du nuage amènerait un affaiblissement plus ou moins grand de la lumière terrestre. A certaines époques, il y aurait peu de taches; ensuite on pourrait en voir beaucoup; ici elles s'étendraient, ailleurs elles se rétréciraient; ces taches participeraient au mouvement de rotation de la Terre, en supposant que notre globe ne fût pas fixe; et, comme elles auraient une profondeur très-petite comparativement à leur largeur, dès qu'elles s'approcheraient du limbe, leur diamètre s'amoindrirait notablement. »

Cette opinion si rationnelle, admise pendant longtemps, fut abandonnée cependant quand Wilson examina avec plus d'attention

les taches du Soleil. Il reconnut d'abord qu'en général les taches avaient un noyau obscur entouré d'une pénombre plus claire, et, en suivant attentivement le mouvement du noyau et de la pénombre, il remarqua que, lorsque la tache disparaissait par suite du mouvement du Soleil, la pénombre située près du disque allait en augmentant d'épaisseur, tandis que celle qui bordait le noyau obscur du côté du centre de l'astre se retrécissait de plus en plus et finissait par disparaître, tellement que la tache était directement bordée par une vive lumière du côté du centre du Soleil et par une large pénombre du côté du disque.

Cette observation fut reconnue exacte, mais on admit trop facilement l'interprétation extraordinaire qu'en voulut donner Wilson. Il imagina, en effet, que la tache noire observée n'était autre qu'une portion du corps même du Soleil, qu'il supposa froid et obscur ; ce corps froid, d'après lui, serait entouré d'une atmosphère opaque et, enfin, d'une seconde atmosphère lumineuse, généralement désignée sous le nom de photosphère ; quand cette atmosphère lumineuse se déchirait, elle permettait d'entrevoir par son ouverture la pénombre due à l'atmosphère non lumineuse, et enfin le noyau du Soleil lui-même, si une déchirure de cette seconde atmosphère, moins étendue que la première, coïncidait avec celle de la photosphère. On comprend, dans cette hypothèse, que ces déchirures étant entraînées par le mouvement de rotation du Soleil, la photosphère arrive à masquer complétement l'atmosphère non lumineuse productrice de la pénombre du côté du centre de l'axe, tandis qu'au contraire cette atmosphère se présentant obliquement du côté du disque, se montre sous une plus grande étendue qu'au moment où la tache se trouvait précisément en face de l'observateur, et où celui-ci voyait normalement la tache et la pénombre. Le Soleil était donc lui-même froid et obscur ; la chaleur et la lumière qu'il répandait dans l'espace était due uniquement à cette photosphère extérieure qui, capable, à l'énorme distance où elle se trouve de la terre, de lui donner une chaleur considérable, serait impuissante à porter au delà de la température terrestre, le noyau solaire qu'elle enveloppe de toutes parts.

Cette hypothèse est certainement peu satisfaisante. Cette photosphère, en effet, si elle existe, doit aussi bien envoyer des rayons calorifiques au dedans qu'au dehors d'elle. Que l'atmosphère intérieure soit opaque ou non, elle doit s'échauffer par le rayonne-

ment de la photosphère, et la chaleur gagnant de proche en proche, cette atmosphère doit être portée au rouge aujourd'hui, en admettant même qu'elle eût été froide autrefois ; elle doit s'être mise ainsi en équilibre de température avec le noyau central, qui ne peut être à une température inférieure à celle de la photosphère extérieure.

Nous ne pouvons donc admettre l'explication des taches proposée par Wilson ; elles ne peuvent être dues à la vision du noyau central du soleil, que le raisonnement nous conduit à croire à une température trop élevée pour qu'il soit obscur, et il y a lieu de s'étonner qu'une hypothèse si peu d'accord avec le plus simple raisonnement ait vécu si longtemps. M. Kirschhoff[1] a récemment trouvé, au reste, une explication très-plausible de l'apparence que présentent les taches quand elles s'approchent du bord du disque solaire. Supposons, en effet, que le noyau de l'astre qui nous éclaire soit à une température extrêmement élevée ; il est certain qu'une partie des éléments qui entrent dans la constitution du Soleil doivent être à l'état gazeux et doivent former autour du noyau central une masse gazeuse énorme dans laquelle des refroidissements partiels peuvent déterminer des précipitations analogues à celles que nous observons dans notre atmosphère même, quand la vapeur d'eau, d'abord invisible, se contracte à l'état vésiculaire pour produire les nuages. Lorsqu'un nuage s'est formé près du Soleil, toutes les régions de l'atmosphère situées immédiatement au-dessus de lui se refroidissent, parce qu'une partie de la chaleur rayonnante que le noyau incandescent lui envoyait primitivement est absorbée par le nuage. Ce refroidissement sera d'autant plus grand que le nuage aura plus d'étendue et d'épaisseur, et il sera plus considérable pour les points situés près du nuage que pour les points plus élevés. Il doit résulter de là que le nuage s'accroîtra par en haut avec une rapidité croissante, puisqu'il empêchera toutes les parties situées au-dessus de lui de recevoir les rayons solaires émanant de la sphère incandescente placée au-dessous. Ce premier nuage agira donc comme un écran et pourra déterminer au-dessus de lui un refroidissement suffisant pour qu'il se forme une couche nuageuse plus légère, puisqu'elle est plus élevée, moins opaque par conséquent, et qui, vue de la terre, nous apparaîtra comme la pénombre de la tache

[1] *Annales de chimie et de physique*, tome LXVIII, page 34. 1863.

plus obscure placée au centre. M. Kirschhoff trouve encore une explication simple de l'observation de Wilson, relative à l'augmentation de la pénombre du côté du bord du soleil, au moment où la tache s'approche du point où elle va disparaître. Supposons en effet, que dans une première position du Soleil, nous apercevions la pénombre entourant de toutes parts la tache centrale de sa demi-opacité, il est clair que lorsque les deux nuages superposés, formant ombre et pénombre, vont se déplacer, l'observation terrestre ne les verra plus normalement, mais obliquement ; et on conçoit que peu à peu, du côté du centre du Soleil, la pénombre semblera diminuer d'épaisseur, parce qu'elle se confondra avec l'ombre même, tandis que du côté opposé la pénombre, vue de plus en plus obliquement, paraîtra affecter des dimensions de plus en plus considérables.

Ainsi il est possible de concevoir que les taches du Soleil sont dues, comme le pensait Galilée, à des nuages, que le Soleil est formé par une masse incandescente entourée d'une atmosphère très-dense, et que, par conséquent, ce Soleil incandescent ne saurait porter d'habitants ; mais ces conclusions n'auraient certes pu se substituer à celles qui avaient cours dans la science, si l'observation des raies du spectre observées par Fraunhofer n'avaient été expliquées récemment de la manière la plus heureuse par M. Kirschhoff. Nous avons insisté, dans les volumes précédents, sur les merveilleux résultats de l'analyse spectrale, et nous n'avons pas à y revenir ; nous voulons seulement rappeler ici l'expérience capitale qui démontre nettement que le Soleil est formé par un noyau incandescent entouré d'une atmosphère très-dense.

Qu'on reçoive, comme l'a fait M. Kirschhoff, sur un prisme placé dans une lunette, les rayons lumineux émis par une lumière due à de l'alcool salé ou par une flamme peu lumineuse, comme celle que fournit un bec de gaz alimenté par un faible courant, dans laquelle on place une petite quantité d'un sel de soude, et nous verrons le spectre se réduire à une belle ligne jaune, caractéristique du sodium ; que, maintenant, nous placions, sans rien déranger au reste de l'appareil, derrière la flamme peu brillante de l'alcool salé, la puissante lumière de Drummond, obtenue par le jet du gaz oxy-hydrogène projeté sur la chaux, les rayons reçus dans la lunette, déviés par le prisme, vont nous apparaître avec toutes les

belles teintes du spectre solaire ; mais, à la place de la ligne jaune observée tout à l'heure, nous allons voir une belle ligne noire simulant, à s'y méprendre, la ligne obscure du spectre solaire désignée par Fraunhofer par la lettre D.

Ainsi une flamme est opaque pour les rayons qu'elle émet elle-même ; la flamme du sodium seule émet des rayons jaunes qui se réduisent à une raie brillante ; mais si elle est traversée par des rayons plus puissants, elle devient aussitôt opaque pour ces mêmes rayons jaunes ; de sorte qu'au lieu d'avoir une ligne jaune brillante se détachant sur un fond noir, on voit une ligne noire se détachant sur un fond brillant.

Ce curieux *renversement* des flammes a été observé non-seulement pour le sodium, mais aussi facilement pour le lithium, et avec plus de difficultés pour le potassium, le calcium et le baryum.

On tire de cette expérience fondamentale d'importantes conclusions par rapport à la constitution physique du soleil. Supposons *à priori* que cet astre soit à une températature très-élevée, il en ressort évidemment qu'une partie de ses éléments formera à l'état gazeux une dense atmosphère autour de lui. Qu'arrivera-t-il si cette atmosphère renferme du sodium? Évidemment que les rayons brillants émis par l'astre central devant traverser cette atmosphère sodée seront éteints en certains points, et que le Soleil et son atmosphère devront reproduire exactement ce qui arrive dans l'expérience précédente où la lumière de Drummond perce la flamme de l'alcool salé et montre, au milieu de son spectre brillant les deux lignes noires rapprochées semblables aux lignes D du spectre solaire.

Nous avons supposé *à priori* que le noyau central du Soleil était incandescent, cette hypothèse revêt un caractère de certitude absolue par l'observation des raies données par le fer.

« Il est particulièrement remarquable, dit M. Kirschhoff, de voir que, dans toutes les parties des spectres où j'ai découvert des raies brillantes du fer, exsitent dans le spectre solaire des raies obscures très-marquées. En raison de la précision des moyens d'observation que j'ai mis en usage, j'ai tout lieu de croire que la coïncidence des raies du fer avec les raies solaires est au moins aussi certainement établie que l'est la coïncidence des raies du sodium avec la raie D. »

En soumettant au calcul la probabilité que la coïncidence entre les 60 raies brillantes du fer et 60 raies du spectre solaire soit due au hasard, et non pas à l'existence du fer dans l'atmosphère de notre astre central, M. Kirschhoff trouve que cette chance est beaucoup moindre que

$$\frac{1}{1,000,000,000,000,000,000}$$

« La probabilité, ajoute-t-il plus loin, diminue encore considérablement par cela que plus une raie de fer est brillante, plus la raie correspondante du spectre solaire est obscure, comme cela doit être. Il doit, par conséquent, exister une cause qui produit ces coïncidences. Cette cause, en parfait accord avec ce qui précède, est la suivante : Le fait observé s'explique en admettant que les rayons lumineux qui donnent le spectre solaire ont traversé des vapeurs de fer dans lesquelles elles ont éprouvé l'absorption que devaient exercer sur elles ces vapeurs. » Et comme il n'y a aucune chance pour que ce fer existe dans l'atmosphère de la Terre, il faut bien qu'il se trouve dans celle du Soleil.

Ainsi que nous l'avons indiqué dans le premier volume de ce recueil, la coïncidence entre les spectres du sodium, du fer, du nickel, avec des raies obscures du spectre, ne permet pas de douter de l'existence de ces métaux dans le Soleil ; le baryum, le cuivre et le zinc paraissent s'y trouver également ; l'or, l'argent, le mercure, l'aluminium, le cadmium, l'étain, le plomb, l'arsenic, l'antimoine, le strontium, le lithium et le silicium ne paraissaient pas y exister ; le cobalt est douteux.

Telles étaient au moins les conclusions admises sur l'autorité de M. Kirschhoff, quand un nouveau travail de M. Mitscherlich est venu sur plusieurs points modifier nos opinions [1], et montrer que le vaste champ ouvert aux recherches par l'admirable découverte de l'analyse spectrale est loin d'être complétement exploré.

M. Mitscherlich, comme ses devanciers, a d'abord étudié les spectres que donnent divers métaux placés dans une flamme de

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. LXIX, p. 169. Octobre 1863.

gaz, puis il a songé à observer les modifications qui peuvent se produire dans les spectres quand la nature de la combinaison dans laquelle est engagé le métal vient à changer.

Si l'on place, par exemple, dans un tube une solution d'acétate de baryte additionné d'acétate d'ammoniaque, puis qu'on fasse écouler lentement ce mélange dans la flamme à l'aide d'un fil de platine le long duquel suinte la dissolution, ce mélange donne le spectre du baryum avec une grande netteté ; mais si l'on plonge alors dans la même flamme l'extrémité d'un tube contenant de l'acide chlorhydrique, on voit aussitôt disparaître le spectre du baryum, qui est remplacé par deux raies vertes qui paraissent être caractéristiques du chlorure de ce métal.

Persuadé bientôt par de nombreuses expériences que les raies des combinaisons d'un certain métal ne sont pas les mêmes que celles de ce métal lui-même, M. Mitscherlich pensa que les raies observées jusqu'à présent étaient dues sans doute aux métaux dont les combinaisons étaient réduites par la flamme, et pour s'en assurer il résolut d'observer les spectres de différentes matières soustraites à l'action directe de la flamme. Du sel marin fut placé dans un tube et chauffé au rouge ; deux glaces fermaient le tube mais permettaient de recevoir sur un prisme les rayons provenant de l'intérieur du tube, ou les rayons lancés par une source énergique, au travers des vapeurs qui remplissaient l'intérieur de l'appareil ; on n'obtint ni la raie jaune dans le premier cas, ni la raie noire dans le second. De la soude donna exactement les mêmes résultats négatifs, elle ne présenta pas plus de spectre que le chlorure ; mais en revanche on obtint très-bien la raie jaune en observant la lumière émise par du sodium métallique brûlant dans l'intérieur du tube, et cette raie jaune se transforma en une raie noire quand on reçut sur le prisme les rayons qui avaient traversé les vapeurs du sodium incandescent.

Cette observation est grosse de conséquences ; les spectres que nous observons dans les flammes sont dus non pas à des combinaisons métalliques quelconques, mais aux métaux eux-mêmes dont les combinaisons sont réduites, et cette conséquence s'étend jusqu'au soleil ; ce n'est pas de la soude ou du sel marin qui existent dans l'atmosphère de cet astre, c'est du *sodium* pur, du sodium métallique, libre ; ce n'est pas du chlorure de fer qu'on y rencontre, c'est du fer métallique, et il faut admettre que tous

les métaux qui sont réduits par la vapeur du sodium sont eux-mêmes à l'état métallique dans le soleil.

D'après cette observation, on pourrait être tenté de conclure que dans le soleil tous les corps comburants libres font défaut, et qu'on n'y rencontre ni oxygène, ni chlore isolés ; il est possible cependant que la température soit assez élevée pour qu'il s'y manifeste continuellement ces phénomènes de dissociation qu'on observe sous l'influence des chaleurs excessives. On peut séparer à l'aide d'une température très-élevée l'oxygène de l'hydrogène ; dans ces conditions ils cessent d'avoir de l'affinité l'un pour l'autre. Il en est peut-être de même dans l'atmosphère du soleil, des corps combustibles et des comburants, et on conçoit que du sodium métallique puisse y exister côte à côte avec de l'oxygène sans cependant s'unir à lui. — M. Mitscherlich commence à étudier avec beaucoup de soin les spectres de certaines combinaisons ; si on les rencontre dans l'atmosphère du soleil, puis qu'on arrive ici-bas à les dissocier sous l'influence de la chaleur, on aura produit une température supérieure à celle de l'astre, sur laquelle on aura dès lors une idée plus précise que celle que nous avons eue jusqu'à présent.

Enfin, il est une observation qu'il importe de rappeler en finissant : elle nous engage à être fort réservés sur nos conclusions relatives à l'absence de certains corps dans le soleil, puisque nous avons vu que quelques combinaisons métalliques ne donnent pas de spectre, puisque M. Mitscherlich nous apprend aussi que la présence dans une flamme de certaines matières masque le spectre de certaines autres substances ; c'est ainsi, par exemple, que la présence du chlorure de cuivre et d'ammonium dans la flamme du chlorure de strontium éteint la raie bleue de ce dernier.

L'étude attentive du spectre solaire nous conduira donc non-seulement à pénétrer plus profondément dans la connaissance de la constitution physique et chimique de cet astre ; mais il est possible qu'elle puisse nous donner les renseignements les plus curieux et les plus nouveaux sur les affinités réciproques des corps aux températures excessives que nous sommes encore incapables de produire ici-bas, elle contribuera à créer une nouvelle branche de la chimie, la *chimie solaire.*

P. P. Dehérain.

III

MARS

SA CONSTITUTION PHYSIQUE D'APRÈS LES OBSERVATIONS DE L'OPPOSITION DE 1862

MM. JOHN PHILIPS, LORD ROSSE, KAISER

Les données qu'on possède sur la constitution physique des astres de notre système solaire, quelque intéressantes qu'elles soient, sont encore bien incomplètes, quand elles ne sont pas contradictoires; aussi les astronomes observateurs saisissent-ils avec empressement toutes les occasions qui permettent de soulever un coin du voile que l'éloignement projette sur tous les problèmes de cet ordre.

Les corps les plus voisins de la Terre ont été naturellement les premiers explorés. La Lune, Vénus, Mars sont aussi les mieux connus, notre satellite surtout, que sa grande proximité, les dimensions réelles et apparentes de son disque, la fréquence de ses révolutions, rendent aisément observable. Quant à Vénus, sa position de planète inférieure, s'éloignant peu des rayons solaires, la rend moins favorable que Mars aux observations télescopiques.

Mars, on le sait, est la première, dans l'ordre des distances, de toutes les planètes dont l'orbite enveloppe l'orbite terrestre. Il en résulte que, lorsque son mouvement de révolution combiné avec le nôtre l'amène à une position diamétralement opposée au Soleil, c'est-à-dire en *opposition*, sa distance à la Terre est la moindre possible : cette distance n'est plus égale qu'à la différence entre les rayons vecteurs qui joignent la Terre et Mars au Soleil. Ce phénomène se renouvelle tous les 779 jours, ou après des intervalles successifs de 2 ans 1 mois et 19 jours.

Mais toutes les oppositions ne sont pas également favorables; voici pourquoi. L'orbite de Mars n'est pas circulaire. C'est, comme les autres orbites planétaires, une courbe elliptique; or, l'élémen qui mesure l'allongement de ce genre de courbe est considérable pour Mars, et parmi les huit grandes planètes, Mercure seule a une excentricité plus grande.

Que résulte-t-il de cette circonstance? Que les distances de la planète au Soleil varient beaucoup, au point qu'entre les extrêmes il y a près de dix millions de lieues de différence. Si donc la distance *minimum* — quand Mars est à son périhélie — vient à coïncider avec une opposition, il est clair que Mars ne sera plus éloignée de nous que de la moindre quantité possible. C'est le cas qui s'est présenté pour l'opposition de 1862. Douze millions de lieues seulement la séparaient de notre globe.

Au reste, pour montrer d'une manière frappante quelle importance il peut y avoir à choisir l'époque des observations, quand on veut examiner les détails physiques présentés par la surface du disque de Mars, il suffit de dire qu'à sa plus grande distance de la Terre le diamètre de ce disque embrasse un angle de 3″,3, tandis qu'à sa distance *minimum* l'angle mesuré s'élève à 23″,5. Enfin les dimensions apparentes, pendant les seules oppositions, varient elles-mêmes de 10″,2.

Avant de faire connaître les résultats des observations nouvelles, rappelons d'abord rapidement les faits connus antérieurement.

I

Couleur de Mars. — Taches permanentes et rotation. — Inclinaison de l'astre sur le plan de l'orbite. — Quantités de lumière et de chaleur que Mars reçoit du Soleil. — Les jours, les nuits et les saisons sur Mars.

Mars brille au ciel comme une belle étoile dont la lumière, parfois scintillante, offre une teinte rougeâtre prononcée. « Elle apparaît à l'œil nu, disent Beer et Mædler, comme l'étoile la plus rouge du ciel[1]. » Mais, en comparant, sous ce rapport, Mars aux étoiles, nos lecteurs feront une distinction importante. Tandis que la lumière des étoiles rouges est celle d'un véritable foyer lumineux, d'un centre de vibrations primitives, la lumière de Mars est réfléchie; c'est celle du Soleil modifiée, soit par la nature de la

[1] Vue au télescope, la teinte rougeâtre ne se montre plus au même degré d'intensité, et la couleur générale est tout au plus un rouge jaunâtre; mais quelques parties isolées offrent une couleur plus vive qui n'est jamais nettement limitée et qui offre beaucoup d'analogie avec les crépuscules de notre Terre. (*Fragments sur les corps célestes du système solaire*, par G. Beer et et J. H. Mædler 1840.)

surface solide ou liquide réfléchissante, soit par le passage des rayons à travers un milieu gazeux.

L'existence de taches permanentes à la surface du disque de cette planète paraît avoir été constatée dès 1636. Trente ans plus tard, Dominique Cassini déduisait de l'observation continue de ces taches un mouvement de rotation dont il fixait la durée à 24 heures 40 minutes. Depuis, Maraldi, W. Herschel, Beer et Mædler ont poussé la précision de cette mesure plus loin encore, et les deux derniers astronomes, qui ont publié une véritable monographie de notre voisine du système solaire, ont adopté pour cette durée 24 heures 37 minutes 23 secondes. Voilà une première analogie entre Mars et la Terre, laquelle s'étend à Vénus et à Mercure, puisque les durées des rotations de ces quatre planètes sont presque identiques.

Une autre analogie avec notre globe, c'est l'inclinaison de son axe de rotation sur le plan dans lequel s'exécute son mouvement de révolution. Cette inclinaison est de 61° 18′, et l'on sait que celle de l'axe terrestre sur l'Écliptique est de 66° 33′ environ.

Ces deux analogies suffisent pour qu'on puisse conclure que les alternatives des jours et des nuits, comme celles des saisons, se succèdent sur Mars de la même manière que les phénomènes terrestres semblables. Mais il faut dire que, astronomiquement parlant, c'est-à-dire en faisant abstraction pour le moment de la constitution particulière à la planète Mars, il existe aussi de notables différences.

D'abord, l'intensité de la chaleur solaire, telle qu'elle arrive à la surface, n'est pas, en moyenne, moitié de celle que nous recevons nous-mêmes du foyer commun. Puis les variations de cette chaleur, dans le cours entier d'une révolution, oscillent entre des limites beaucoup plus étendues. L'intensité, à la distance moyenne du Soleil étant prise pour unité, à l'aphélie elle n'est plus que 0.81, tandis qu'au périhélie elle s'élève à 1.20. Mêmes oscillations relatives pour les quantités de lumière.

La grande excentricité de l'orbite de Mars produit aussi dans la durée comparative des saisons des différences sensibles avec les périodes terrestres analogues. Les deux hémisphères nord et sud de la planète, en se présentant au Soleil et en s'éloignant successivement de cet astre, subissent des variations de température qu'on peut distribuer en quatre saisons, deux hivernales et deux

estivales, séparées par des équinoxes et par des solstices. Mais, sur la durée totale de 668 rotations de Mars[1], qui est celle d'une révolution entière, les saisons estivales embrassent 372 de ces jours, et les saisons hivernales seulement 296, du moins pour l'hémisphère nord ; ces nombres doivent être renversés pour les habitants de l'hémisphère méridional.

Nous ferons deux observations sur ces durées. En premier lieu, il est aisé de voir qu'elles approchent d'être doubles des saisons terrestres correspondantes. De là, pour le printemps et pour l'été, une accumulation considérable de chaleur solaire, et pour l'hiver et l'automne une déperdition non moins grande et non moins prolongée. D'ailleurs les variations correspondantes de distance au Soleil que nous avons signalées plus haut ajoutent encore au contraste que doivent présenter sur Mars les températures des diverses parties de son année.

En vérité, comme je l'ai dit, il faudrait, pour savoir au juste comment se passent les choses, tenir compte des conditions atmosphériques, de l'état électrique et magnétique du globe de Mars, de l'état thermique de sa masse interne, enfin de la distribution géographique des terres et des eaux, des courants qui les sillonnent, toutes conditions qui ont, on le sait, une si grande influence sur la température d'un corps céleste, et qui en composent, à vrai dire, la météorologie spéciale.

De là, la nécessité de sortir des considérations, pour ainsi dire, purement géométriques, et de recourir aux observations télescopiques. Elles nous apprendront si la surface de Mars est, comme la croûte terrestre, distribuée en mers et en continents ; si une enveloppe vaporeuse ou gazeuse l'entoure, et, au cas où elle existe, si elle est sujette aux mêmes variations et intempéries que nous subissons ici-bas, vents, orages, pluies, gelées et dégels, à cette multitude de phénomènes variés dont la science commence à peine à entrevoir les lois générales, et qui font à la fois l'apparente sécurité et le secret désespoir des prophètes du temps.

[1] Ou environ 687 jours terrestres.

II

Les taches permanentes de Mars. — Taches brillantes rougeâtres, taches sombres verdâtres. — Les neiges et les glaces aux pôles de Mars.

Mars, vu dans une lunette astronomique, apparaît sous la forme d'un globe ou, si l'on veut, d'un disque à peu près circulaire, parsemé de taches sombres et de taches brillantes. Ces dernières, sauf les taches polaires qui sont toujours d'un blanc pur et brillant, ont une teinte rouge assez prononcée, tandis que les autres, sans doute par un effet de contraste, affectent une couleur verdâtre. On sait à quelles explications la couleur rouge des taches brillantes a donné lieu : les uns l'ont attribuée à la nature des terrains, aux grès rouges ou à des couches ocreuses dont le sol superficiel serait recouvert. Lambert a émis cette idée que les produits de la végétation sont rouges. Enfin quelques astronomes ont cru voir dans cette coloration un simple phénomène de réfraction, produisant un effet analogue à celui de nos couchers de soleil. Mais cette dernière hypothèse paraît écartée par une judicieuse remarque d'Arago. C'est, en effet, si l'hypothèse était exacte, sur les bords du disque et dans les régions polaires que la coloration devrait être la plus forte : le contraire a lieu.

Quant à l'idée de Lambert, si elle est vraie, il en doit résulter des périodes d'intensité variable dans la coloration des parties brillantes, c'est-à-dire des terres de chaque hémisphère. A chaque printemps les arbres devront, non pas reverdir, comme nous le voyons sur la Terre, mais *re*rougir, s'il est permis d'employer ici ce mot nouveau. Puis, à la fin de l'automne, les forêts se dépouillant, la couleur rouge doit diminuer d'intensité. A-t-on observé de tels changements, ou même s'est-on préoccupé d'observer, à ce point de vue, la couleur de Mars? C'est ce que nous ne pouvons dire; comme, en astronomie surtout, on ne voit guère que ce qu'on cherche en des matières aussi délicates, nous verrions avec plaisir les observateurs étudier ce point et vérifier ainsi une supposition ingénieuse.

Nous arrivons à l'une des particularités les plus curieuses du globe de Mars. Nous voulons parler des deux taches blanches,

d'inégale grandeur, qui recouvrent les deux pôles de rotation. L'éclat de ces taches est remarquable : Arago l'a évalué à plus du double de l'intensité des autres taches brillantes du disque [1]. En outre, soit par l'effet de l'irradiation, soit par leur épaisseur réelle, ces taches semblent accroître les dimensions du disque et déborder, pour ainsi dire, le contour de la planète.

On eut bientôt assimilé les pôles de Mars aux pôles glacés de la Terre. Mais ce qui rendit encore l'analogie plus frappante, c'est ce fait, observé avec soin par W. Herschel, que les dimensions des taches boréales et australes variaient avec la position de Mars sur son orbite. « Si, en 1781, par exemple, la tache parut extrêmement étendue, ce fut après un long hiver de cet hémisphère, ce fut après une période de douze mois, pendant laquelle le pôle correspondant avait été entièrement privé de la vue du Soleil. Si, au contraire, en 1783, la même tache se montra très-petite, c'était à une époque où, depuis plus de huit mois, le Soleil dardait ses rayons d'une manière continue sur le pôle sud de Mars [2]. »

Ainsi, il y a sur Mars des neiges et des glaces ; la gelée et le dégel, la chute périodique de la neige, et dès lors et sans aucun doute de la pluie, sont des phénomènes ordinaires de sa météorologie. Donc il y a de l'eau ou, du moins, un liquide analogue à l'eau, et par suite, sinon une atmosphère gazeuze, du moins une enveloppe vaporeuse.

L'opinion qui fait des taches rouges brillantes — on a vu que les taches polaires ne sont pas colorées — la partie solide, continentale, de la planète, et qui voit dans les taches verdâtres, plus sombres, l'océan de Mars, est donc extrêmement probable. Les nouvelles observations que nous allons maintenant décrire confirment de tout point cette manière de voir.

[1] « En 1837, disent Beer et Mædler, il arriva une fois que, pendant l'observation, Mars fut complétement obscurci par un nuage, à l'exception de la tache polaire qui se montrait distinctement à la vue. »

[2] W. Herschel. cité par M. Arago. Citons aussi l'observation faite par Beer et Mædler, pendant l'opposition de 1830. Du 31 août au 2 octobre, le diamètre de la tache blanche du pôle austral diminua de moitié; dès lors la surface de cette tache se trouva réduite au quart à une époque qui, pour cet hémisphère de la planète, correspond au milieu de notre mois de juillet. Dix-huit jours après, elle s'était étendue de nouveau, de façon à embrasser plus du tiers de sa surface primitive.

III

Observations de M. John Philips, pendant l'opposition de 1862. — Études sur la permanence et sur la variabilité des taches ; existence, sur Mars, de vicissitudes atmosphériques. — Dessins de M. J. Philips et de lord Rosse. — Détermination de la période de rotation et de l'aplatissement, par M. Kaiser (de Leyde).

M. John Philips, professeur de géologie à l'université d'Oxford, a fait une série d'observations de Mars, du 27 septembre au 13 décembre 1862, c'est-à-dire pendant la période favorable de l'opposition de la planète, en octobre, la distance *minimum* de la Terre n'étant plus que de 0.4, en prenant pour unité la moyenne distance de notre globe au Soleil.

Le savant observateur s'était surtout proposé d'étudier les taches soit brillantes, soit obscures, dont les descriptions et les dessins antérieurs n'établissaient point la permanence avec assez de certitude. Il fait remarquer que cette incertitude n'a eu jusqu'ici rien de bien extraordinaire, si l'on songe à la variabilité d'aspect qui résulte des distances fort inégales dues à l'excentricité de Mars, de l'inclinaison de son axe sur l'écliptique[1], de la façon dont les diverses régions se présentent à l'incidence de la lumière, des vicissitudes enfin que la chaleur et le froid causent à la surface du globe. Il ajoute aussi que les instruments employés dans les observations sont encore une source d'erreurs pour la comparaison des résultats : tandis que les télescopes réflecteurs ou à miroirs n'altèrent point les couleurs, mais ne donnent pas des contours parfaitement nets ; les télescopes à réfraction, ou les lunettes astronomiques, au contraire, n'altèrent point la forme des images,

[1] L'inclinaison de l'orbite de Mars sur le plan de l'orbite terrestre est de plus de 30°. Il en résulte que les oppositions successives de la planète ne nous présentent pas les mêmes régions, ou du moins nous les font voir sous des angles fort différents, ce qui rend difficile la comparaison des résultats de l'observation, quant à la forme et à la couleur des taches.

Ajoutons que le milieu de l'été de l'hémisphère austral de Mars coïncide à fort peu près avec le périhélie. C'est donc surtout cet hémisphère que nous pouvons examiner pendant les oppositions les plus favorables, ce qui explique pourquoi les données physiques relatives à l'hémisphère boréal sont plus incomplète.

mais trompent souvent, par leur défaut d'achromatisme, sur les nuances et les couleurs.

L'instrument employé par M. John Philips était une lunette achromatique de six pouces d'ouverture, montée équatorialement et mue par un pied parallatique.



Fig. 1. — Mars, le 27 septembre 1862, et dans plusieurs autres occasions, jusqu'au 13 décembre de la même année (longitude 0°).

Les taches brillantes lui parurent, comme aux observateurs précédents, d'une teinte rougeâtre, et les parties sombres d'un gris verdâtre. Les premières affectèrent quelquefois une apparence brillante et argentée. Il se demande si, selon l'opinion généralement accréditée, les taches brillantes doivent être considérées comme des terres, et les parties sombres comme des mers. Ou encore, comme dans la Lune, ne faut-il voir dans les unes et les autres que des surfaces possédant des pouvoirs réfléchissants très-inégaux?

M. John Philips croit pouvoir affirmer, en se fondant sur des

observations qui ont embrassé soixante-quatorze jours, qu'aucun changement réel sensible n'a eu lieu dans les principaux contours des taches que circonscrit le méridien dont la longitude est 0°, bien qu'elles ne soient pas restées absolument identiques, à cause de la grande variation de distance des deux planètes, pendant tout cet intervalle.

En comparant d'ailleurs ses propres dessins, réduits aux mêmes longitudes, avec ceux d'Herschel, de Mædler, de Lockyer, de Jacob, il a acquis la certitude que la permanence des taches principales embrasse une période de plus de trente années.

Nous reproduisons ici les dessins[1] que l'auteur a joints à son Mémoire, inséré dans les comptes rendus de la Société Royale de Londres[2].

On aperçoit d'abord une large bande brillante (de couleur rougeâtre) qui part d'environ 65° de latitude nord, s'étalant comme un nuage dépassant l'équateur, puis remonte et redescend en formant ainsi plusieurs golfes. Une bande sombre suit tous les contours de cette bande brillante, en affectant des teintes dont l'éclat offre une grande différence d'intensité.

Le pôle sud — dans le haut de la figure — est entouré excentriquement d'une masse blanche qui scintille dans le télescope. Les contours de cette tache brillante paraissent plus éclatants, par contraste avec la teinte sombre des mers qui l'environnent.

En comparant la figure 2 à la figure 1, on aperçoit les mêmes taches, comme si elles eussent tourné de 90° vers la droite du dessin. Le grand golfe, dont la pointe s'avance vers le pôle boréal, a passé de la gauche vers la droite, et l'on peut voir le prolongement de la même tache brillante dépasser l'équateur et remonter du côté du pôle sud. Dans toute la partie sombre — gris verdâtre — on voit des stries de teintes diverses. La figure 3 montre l'hémisphère de Mars opposé à celui que représente le premier dessin. Les taches brillantes envahissent de ce côté plus de la moitié boréale du disque. C'est dans ces taches grisâtres qu'on a pu observer des changements partiels qui accusent des vicissitudes atmosphériques évidentes : elles sont assez inconstantes dans leur

[1] M. Philips a construit en outre deux globes de Mars sur lesquels il a reporté les taches observées.

[2] *Proceedings of the Royal Society*, vol. XII, n° 55.

forme, selon M. Philips, pour suggérer l'existence d'une atmosphère nuageuse.



Fig. 2. — Vue de Mars, à la longitude de 90°. Observation du 11 novembre.

Il ne faut pas oublier d'ailleurs — nous l'avons vu plus haut — que l'existence d'une atmosphère, ou du moins de l'eau, est nécessaire pour expliquer les variations des taches polaires.

M. John Philips émet une idée assez ingénieuse : il pense que, si Mars est recouvert d'un Océan, la surface réfléchissante de la mer devrait fournir, par réflexion, une image étincelante du Soleil, qui serait ainsi vu comme une étoile. Rien de pareil n'a été constaté. Mais l'état d'agitation des masses liquides, et l'interposition d'une atmosphère brumeuse, suffiraient à expliquer ce fait, si le faible pouvoir réfléchissant de l'eau n'en rendait compte.

En résumé, le professeur de l'Université d'Oxford conclut de ses observations qu'il y a, à la surface de la planète Mars, une série de taches permanentes, mais qu'une enveloppe vaporeuse entoure la première, et en explique les apparentes variations. Quant aux

taches polaires, elles sont dues à l'envahissement des neiges ou des glaces. Il en résulte, entre les deux pôles de Mars, un échange périodique de vapeurs et d'humidité, qui doit occasionner des ouragans, des tempêtes terribles.



Fig. 3. — Hémisphère de Mars, opposé à la fig. 1 (longitude de 180°). Observations du 15 et du 16 octobre.

Ces conclusions, dit-il, sont confirmées par une série de six dessins que lord Rosse a exécutés d'après ses propres observations effectuées dans son grand télescope de Parsonstown. Le 22 juillet 1862, lord Rosse a vu la tache circulaire du pôle sud, partagée diamétralement par le limbe de la planète, et, d'après ses évaluations, le diamètre de cette tache a une étendue de 500 milles anglais, environ 805 kilomètres.

Pour terminer enfin ce qui, dans les dernières observations, a trait à la configuration et à la constitution physique de Mars, disons qu'un observateur hollandais, M. Kaiser, directeur de l'Observatoire de Leyde, a pu déterminer à nouveau la durée de la

rotation de la planète, durée qu'il fixe à 24 h. 37 m. 22 s. 62, nombre qui ne diffère pas d'une seconde de celui de Beer et de Mædler.

Quant à l'aplatissement, tel que le même observateur l'a conclu d'une série de mesures micrométriques des diamètres polaire et équatorial, il l'évalue à $\frac{1}{118}$, nombre bien différent de celui qu'Arago avait obtenu par ses mesures de 1811 à 1837, et qui était de $\frac{1}{30}$. Mais nous avons eu nous-même l'occasion de voir, il y a peu de temps, un tableau des divers aplatissements de Mars, obtenus par un observateur anglais dont le nom nous échappe, tableau dont les nombres sont si discordants qu'il est difficile d'avoir une grande confiance à cet égard, et qu'il nous semble prudent d'attendre, ou bien des mesures nouvelles, ou bien une discussion approfondie des résultats obtenus jusqu'ici.

Amédée Guillemin.

PHYSIQUE

LES HAUTES TEMPÉRATURES

Le lecteur de l'*Annuaire*[1] a déjà été entretenu des procédés dont la science dispose pour produire les hautes températures ; nous voulons aujourd'hui lui présenter les méthodes qui peuvent servir à leur évaluation.

Aussitôt que ce grand principe, la corrélation des forces mécaniques, physiques et chimiques a été solidement établi, la mesure des hautes températures s'est nettement posée. Puisque la chaleur engendre des actions mécaniques, physiques et chimiques, on conçoit qu'à chacune de ces transformations que subit la chaleur correspondent des méthodes particulières de mesure.

L'exposé de ces méthodes est l'objet de cet article.

I

Transformation en chaleur des forces mécaniques, de l'électricité et des affinités chimiques.

La marche progressive des sciences a conduit les physiciens à imaginer un principe unique, l'*éther*, répandu dans le vide comme dans les pores de la matière, qu'elle soit solide, liquide ou gazeuze. La chaleur, l'électricité, la lumière ne peuvent se produire sans l'intervention de la matière ; elles résultent de son mouvement vibratoire : l'éther est le milieu élastique préposé à la transmission de ces vibrations dont l'amplitude est infiniment petite et la vitesse de propagation énorme. La chaleur, la lumière, l'électricité, les affinités chimiques comme les actions mécaniques, ayant une

[1] Voyez 1re année. — *La Société chimique et les séances publiques.*

origine commune, le *mouvement vibratoire*, sont nécessairement susceptibles de se transformer les unes en les autres. Les exemples abondent, un seul suffit : l'*action chimique*, la combustion du charbon, *échauffe* l'eau puis la transforme en chaleur, dont la puissance mécanique met en mouvement une machine magnéto-électrique, se traduit alors en électricité, qui s'élance dans le circuit pour subir une dernière métamorphose et apparaître sous forme de gerbe lumineuse entre les cônes de charbon qui forment les électrodes.

Si, toutefois, on peut théoriquement obtenir de la chaleur avec de la force mécanique, de l'électricité ou des actions chimiques, on est loin d'arriver, dans tous les cas, à des résultats industriels aussi favorables, à des intensités d'action aussi grandes ; et si nous examinons rapidement les divers procédés à l'aide desquels on obtient de la chaleur, nous allons reconnaître entre eux de notables différences.

Ainsi, toute action mécanique (frottement, percussion, pression, etc.) imprimée à un corps solide, liquide ou gazeux, le met en vibration et par suite l'échauffe : la somme de chaleur produite dépend de la constitution moléculaire du corps, de l'étendue et de l'état physique de sa surface, de la rapidité de son mouvement vibratoire.

Sans insister sur les exemples si connus du briquet à pierre, de la combustion du bois vivement frotté par un outil de fer, de l'inflammation de l'huile dans l'air rapidement comprimé, on se rappellera avec intérêt la grande application industrielle que MM. Beaumont et Mayer ont faite du frottement comme source de chaleur.

Leur *thermogène* reposait essentiellement sur le frottement mutuel de deux cylindres : l'un fixe était en cuivre, l'autre mobile, en bois, et tous deux plongeaient dans l'eau d'une chaudière à vapeur. Avec une vitesse de 400 tours par minute, on élevait 400 litres d'eau de 0° à 130°. La force mécanique était donc transformée en chaleur, qui ne pouvait être utilisée que lorsqu'elle était, et cela naturellement avec perte, ramenée à l'état de force mécanique ; aussi cet appareil paraît-il plus intéressant au point de vue scientifique qu'au point de vue industriel.

Toute action mécanique engendre l'électricité en même temps que la chaleur ; ce dernier agent est lui-même une source d'é-

lectricité, ainsi que nous le verrons plus tard. Réciproquement, l'électricité doit être une source de chaleur et de force mécanique.

L'électricité est une source naturelle de chaleur, mais il ne faut pas la considérer comme applicable à l'industrie, bien qu'elle permette d'engendrer les températures les plus élevées. La pile de Bunsen, la machine magnéto-électrique, telles sont, aujourd'hui, les agents producteurs d'électricité que la science offre à l'industrie : d'une part, c'est la décomposition de l'eau sous l'influence du zinc et de l'acide sulfurique, qui engendre l'électricité ; de l'autre, c'est la force mécanique mettant en mouvement les électro-aimants placés entre les pôles d'aimants fixes. L'affinité chimique comme la force mécanique se traduisent donc par des équivalents de fluide électrique qui s'élance soit dans des fils métalliques, en les rendant incandescents, ou qui, se recombinent entre des électrodes de charbon, déterminant alors un arc lumineux (nommé *arc voltaïque*, en l'honneur de l'illustre créateur de cette branche de l'électricité) [1]. Nous reviendrons plus loin sur la température excessive qui se développe dans le sein de cette gerbe lumineuse ; rappelons seulement que, si l'on plaçait l'arc voltaïque au foyer d'une lentille à échelons qui y concentrerait les rayons solaires, on produirait la source calorifique la plus intense que l'imagination humaine pût rêver ; les substances les plus réfractaires, la magnésie, l'anthracite, etc., n'y résistent pas ; la première de ces substances est entièrement volatilisée [2]. M. Becquerel père a également produit des effets calorifiques énergiques en rendant incandescent un fil de platine enroulé autour d'un creuset de chaux vive ; il a pu fondre l'argent ou même l'or en les plaçant dans cet appareil.

La source calorifique réellement industrielle est la *combustion*, réduisant la valeur du mot à « la combinaison de certains corps avec l'oxygène, accompagnée d'un dégagement de chaleur susceptible de déterminer l'incandescence. » L'explication de ce phénomène, que nous voyons se reproduire chaque jour dans nos foyers, a été enveloppée longtemps d'une grande obscurité ; nous n'entrerons pas dans les détails historiques de la

[1] Voir *Annuaire scientifique*, 1865. *Les courants d'induction.*
[2] Cette expérience a été réalisée par M. Despretz.

question, aujourd'hui parfaitement élucidée au point de vue chimique, renvoyant nos lecteurs aux traités spéciaux.

L'intensité de la chaleur développée par la combustion dépend de trois circonstances principales : 1° la nature de la substance brûlée; 2° sa densité; 3° la quantité d'oxygène fournie dans l'unité de temps. Plus un combustible solide est dense, plus il fournit de chaleur, puisqu'il y en a une moins grande proportion absorbée par les gaz et les liquides contenus dans ses pores au moment de leur expansion; c'est pourquoi le coke, et surtout le charbon de cornues, produisent des effets calorifiques bien plus intenses que la houille. Parmi les combustibles gazeux, l'hydrogène, jusqu'à présent, se plaçait au premier rang, cependant M. Debray[1] établit par de savantes appréciations que l'oxyde de carbone produit encore plus de chaleur que l'hydrogène sous le même volume ou à équivalents égaux. Le savant chimiste s'appuie de l'autorité de l'illustre maître, M. Dumas, qui, à son cours de la Sorbonne, faisait ressortir par des expériences concluantes l'intensité calorifique si grande de l'oxyde de carbone. D'une manière générale, on peut dire que « la quantité de chaleur cédée par une flamme à un corps s'évalue en multipliant l'excès de la température de combustion de la flamme sur celle du corps par la chaleur spécifique de la substance engendrée dans la combustion et par son poids. »

Cependant la pratique industrielle utilise surtout la combustion de l'hydrogène par l'oxygène, pour produire les hautes températures; le plus souvent même on substitue à ce combustible le gaz de l'éclairage. C'est à l'aide de cette source calorifique que MM. H. Sainte-Claire-Deville et Debray sont parvenus à fondre avec la plus grande facilité des masses considérables de platine; M. P. P. Dehérain a consacré à ce sujet plusieurs pages du premier et du second volume de ce recueil, nous y renvoyons le lecteur.

L'industrie n'emploie guère pour combustible que les variétés du carbone : la houille pour les températures les moins élevées (fusion du verre, cuisson des briques, du plâtre, de la chaux...); le coke, réservé aux fours destinés à produire des températures plus élevées, ne brûle que sous l'influence d'une insufflation rapide du gaz comburant. Les machines soufflantes doivent fournir une

[1] Leçon professée à la Société chimique de Paris, mars 1861.

quantité d'air telle que tout l'oxygène soit rigoureusement absorbé. L'azote passant dans le foyer sans y exercer aucune action chimique, est évidemment une cause de déperdition du calorique engendré; ce gaz sortant à une température beaucoup plus élevée que celle qu'il possédait à son entrée, disperse dans l'espace ambiant une partie de la chaleur produite. Pour éviter cette déperdition et, aussi, pour obtenir avec un gaz comburant plus condensé des effets calorifiques plus intenses, on pourrait employer l'oxygène pur, si ce gaz était susceptible d'être préparé industriellement en grande quantité.

Lavoisier avait déjà songé à utiliser les propriétés comburantes de l'oxygène pour obtenir de hautes températures, et même la fusion du platine; mais, c'est plus récemment qu'on a proposé quelques méthodes propres à fournir l'oxygène à prix réduit.

On a déjà décrit dans ce recueil [1] les essais tentés dans ce sens, en appuyant surtout avec raison sur le procédé de MM. H. Deville et Debray, basé sur la dissociation de l'acide sulfurique, et il est possible que, de cette expérience de cours, jaillisse un jour un procédé de fabrication industrielle de l'oxygène. Quand ce principe comburant pourra être livré à la consommation aussi facilement que le gaz de l'éclairage, les fours à hautes températures débiteront leurs produits avec des pertes bien moindres, et leurs intensités calorifiques seront autrement élevées qu'elles ne le sont aujourd'hui.

DE LA MESURE DES HAUTES TEMPÉRATURES

II

Transformation de la chaleur en force mécanique. — Dilatation. — Thermomètres à solides, à liquides et à gaz.

Tout foyer atteint un état d'équilibre, dès que la somme de chaleur produite équivaut à celle rayonnée au dehors : l'état calorifique intérieur de ce foyer correspond alors à sa plus haute température. La détermination exacte de cette quantité intéresse vive-

[1] Première année, 1862.

ment les arts et les industries dont le feu est l'auxiliaire indispensable.

L'ignorance peut aisément déterminer des pertes matérielles, occasionner même des accidents. Avant de manier un four, un haut fourneau, une moufle, etc., il faut donc connaître leur plus haute température. L'ouvrier des usines, habitué à ses fours, reconnaît, au seul examen de son combustible ou des parties incandescentes de la construction, s'il est près d'atteindre ou s'il a atteint le terme de l'opération : il dédaigne les appareils de mesure que lui offre la science, car rarement il manque son œuvre. Mais, avant d'être *connaisseur* dans ce genre, avant d'avoir acquis l'habitude et le coup d'œil garants du succès, il faut avoir passé par un long apprentissage. C'est ce qui explique la prépondérance du chauffeur dans certaines usines; prépondérance fâcheuse, car celui-ci résiste d'une manière passive à toute tentative d'amélioration qui permettrait à un débutant de le suppléer. Indépendamment de ces considérations, il faut que la science apprécie exactement les moyens de produire la chaleur, qu'elle connaisse les limites qui bornent ses procédés actuels afin de les reculer sans cesse; il faut enfin que le physicien ou le chimiste utilise non-seulement la chaleur, mais la mesure pour la conduire à son gré.

Dès les temps les plus reculés, on a reconnu que l'effet général de la chaleur sur les corps, quelle qu'en soit la nature, est l'augmentation de leurs dimensions, phénomène désigné aujourd'hui sous le nom de *dilatation*. Il est donc naturel que les premiers observateurs aient songé à utiliser cet effet physique pour suivre la marche ascendante ou décroissante de la chaleur dans les corps.

Toute substance qui, soumise à l'action de la chaleur, se dilatera de la même fraction de son volume primitif pour le même accroissement d'intensité calorifique de la source, constituera un *thermomètre*. Mais, des trois états des corps, solide, liquide et gazeux, quel est celui qui vérifie le plus la loi de proportionnalité entre les dilatations et les quantités de chaleur absorbées? Dans les solides et les liquides, l'état d'équilibre des molécules est dû à l'existence de deux forces antagonistes, la cohésion et la force répulsive, celle-ci augmente à chaque addition de chaleur. La cohésion n'a pas la même intensité chez les différents corps; elle dépend de leur état moléculaire : un même accroissement de chaleur ne

devra donc pas produire une répulsion égale entre les molécules des différents corps. Il en résulte aussi que, pour une même substance, on ne trouvera pas des dilatations identiques, si l'on ne prend pas les mêmes points de départ pour construire l'échelle thermométrique.

Ces considérations expliquent suffisamment le rejet que l'on a dû faire des instruments primitivement employés sous le nom de *Pyromètres métalliques*. En général, dans les déterminations faites à l'aide de ces appareils, on mesure l'augmentation de longueur d'une barre plongée dans la source calorifique à évaluer (connaissant préalablement la longueur de cette barre lorsqu'elle était immergée dans la glace fondante). On calcule alors la température en admettant comme constant le coefficient de dilatation linéaire du métal employé. Or, si l'on compare les dilatations des métaux à celle de l'air, considérée comme constante, on trouve que leurs coefficients de dilatation augmentent à mesure que l'intensité de la source de chaleur s'accroît ; de sorte que les déterminations de températures faites dans les conditions précédentes sont nécessairement trop fortes.

On comprend donc pourquoi, à une époque où les pyromètres étaient employés pour mesurer les températures, on se faisait une idée exagérée des *maxima* auxquels il est possible d'atteindre.

Wedgwood trouvait aussi des nombres trop élevés, en supposant la contraction de l'argile proportionnelle à l'accroissement d'intensité de la chaleur : aucune loi ne peut évidemment lier l'augmentation de la température à la contraction due au dégagement de l'eau interposée dans les pores de l'argile. Cependant il faut reconnaître que cette action suit une marche assez régulière jusqu'à la fusion de l'argent.

Les liquides se dilatent plus que les solides : la dilatation du mercure, moindre que celles des autres liquides, l'emporte sur celle du zinc celui des solides qui se dilate davantage. Mais, de tous les liquides, le mercure et l'alcool seuls ont une marche régulière, comparativement à celle du thermomètre à air auquel nous arrivons immédiatement.

Priestley, Roy, Saussure, avaient reconnu expérimentalement que les gaz ne se dilataient pas d'une façon identique. Laplace n'admit pas ce résultat : « La cohésion entre les molécules gazeuses est presque nulle, disait l'éminent philosophe ; une même

addition de chaleur doit entraîner une égale augmentation de volume, quelle que soit la nature du gaz. »

Il sollicita l'appui expérimental de Gay-Lussac, qui, peu de temps après, proclama cette belle loi physique : « Tous les gaz, pris à l'état de sécheresse absolue, ont un même coefficient de dilatation. » M. Regnault entreprit des travaux remarquables dans le but de vérifier cette loi entre des limites plus étendues, il en conclut que : « la loi de Gay-Lussac doit être considérée comme une loi limite qui s'approche d'autant plus de l'exactitude absolue que les gaz sont plus dilatés, c'est-à-dire plus éloignés de leur point de liquéfaction. » On peut donc admettre que « la dilatation des gaz est constante entre toutes limites de température, quelque reculées qu'elles soient. »

Le point de repère de toutes les méthodes thermométriques est donc le thermomètre à air. Si les données théoriques sur lesquelles repose cet instrument n'étaient pas si solidement établies, la thermométrie serait condamnée à tourner éternellement dans un cercle vicieux, chaque méthode nouvelle ne trouvant pour terme de comparaison qu'une autre méthode entachée du même doute.

On conçoit donc pourquoi les gaz doivent être considérés comme les corps les plus capables d'indiquer exactement les hautes températures.

Le pyromètre à gaz consiste en une enveloppe sphérique ou cylindrique contenant un volume d'air déterminé, l'enveloppe est en platine, porcelaine ou en fer, corps résistant aux températures élevées. Elle se termine par un tube intérieurement capillaire s'adaptant, à l'aide d'une fermeture hermétique à un appareil manométrique. Cette seconde partie de l'instrument est formée de deux tubes de verre communiquant à volonté, soit ensemble, soit isolément avec l'extérieur, par la disposition convenable donnée à un robinet à trois branches. L'un de ces tubes constitue le réservoir d'air, il est divisé à cet effet en parties d'égale capacité ; l'autre, le manomètre, est divisé en parties d'égale longueur [1].

[1] Les deux procédés classiques de mesure consistent à opérer : 1° à volume constant et à pression variable ; 2° à volume variable et à pression constante. Nous devons renvoyer, pour leur exposé, aux traités spéciaux.

Dans l'application du second procédé, il faut observer que le coefficient de

Grâce à l'emploi du pyromètre à air, on eut des idées plus exactes sur le degré d'élévation des températures auquel on pouvait atteindre. Les méthodes d'observation furent variées par les différents physiciens qui traitèrent cette question. M. Silbermann imagina un pyromètre à air à réservoir mobile permettant de déduire la température cherchée de l'augmentation donnée au réservoir de gaz. MM. H. Deville et Troost appliquèrent la méthode du thermomètre à poids à la détermination des hautes températures, lors de leurs recherches sur les densités des vapeurs surchauffées [1].

M. Regnault proposa pour le service de la manufacture de Sèvres un pyromètre à gaz, que l'on peut nommer *pyromètre chimique ;* cet appareil présente l'avantage de pouvoir indiquer toutes les variations de température d'un four sans qu'il soit nécessaire de le déplacer. Il consiste en un tube en fer muni de deux robinets d'entrée, l'un donnant issue au gaz hydrogène, l'autre à l'air ; à sa suite vient un tube de cuivre rempli d'oxyde du même métal, qui est chauffé à l'aide d'une rampe de gaz ; l'appareil se termine par un condenseur de vapeur d'eau. Quand le pyromètre est installé dans le foyer, on remplit le tube de fer d'hydrogène ; le gaz se dilate sous l'influence de la chaleur du four, passe sur l'oxyde de cuivre et le réduit ; la vapeur d'eau formée est entraînée dans le condensateur. A la fin de l'opération, on balaye tout l'appareil avec un courant d'air sec et on pèse l'eau formée ; ce poids indique la quantité d'hydrogène dégagée, et un calcul très-simple conduit à la détermination de la température cherchée.

dilatation des gaz *sous pression constante* est plus grand que celui *sous pression variable;* conséquence immédiate de la loi de Mariotte. La différence entre ces deux quantités devient d'autant plus sensible que le gaz cesse plus vite d'obéir à cette loi. L'hydrogène faisant seul exception, constituerait le meilleur gaz pyrométrique, mais l'air est évidemment la matière gazeuse la plus aisée à employer dans la pratique, c'est pourquoi le pyromètre à air est le plus ordinairement usité.

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 1re année, page 100.

III

Transformation de la chaleur en électricité. — Courants thermo-électriques. — Pyromètres électriques. — M. Becquerel père, M. Pouillet, M. Edmond Becquerel.

En 1821, Seebeck découvrait que, dans certaines circonstances, la chaleur devient une source d'électricité. Son expérience est restée classique : un circuit en forme de rectangle est composé par un barreau de bismuth soudé par ses extrémités à une lame de cuivre; dans l'intérieur, on place une aiguille aimantée, et tout le système est amené dans le méridien magnétique. Si on chauffe l'une des soudures, la déviation de l'aiguille indique la production d'un courant assez intense; si on échauffe l'autre soudure, le courant change de sens, car la déviation de l'aiguille est inverse. Œrsted, le premier, vulgarisa cette importante découverte, qui n'était rien moins que la transformation de la chaleur en électricité; il donna à ces courants de nouvelle origine le nom de thermo-électriques.

Un circuit sera thermo-électrique lorsque ses diverses parties seront inégalement conductrices de l'électricité. On obtiendra, à coup sûr, un couple thermo-électrique en unissant deux métaux différents; les points de jonction se nomment les soudures : une seule doit éprouver l'élévation de température, l'autre restant plongée dans la glace fondante pendant la durée des observations. Le sens du courant dépend de la nature des conducteurs ainsi associés et de l'ordre de la soudure échauffée.

Pour expliquer la formation des courants thermo-électriques, M. Becquerel père admet, en principe, que la propagation de la chaleur dans un conducteur y détermine un mouvement d'électricité. Si tout est semblable de part et d'autre du point échauffé, on a deux courants contraires et égaux qui s'entre-détruisent : mais si des circonstances modifient la propagation de la chaleur d'un côté ou de l'autre, l'un des courants devient supérieur en intensité, et détermine suivant son sens la déviation de l'aiguille aimantée. Cette explication de la thermo-électricité s'appuie sur des expériences décisives. M. Seebeck avait obtenu, dès le principe, des courants thermo-électriques en chauffant simplement

un point quelconque d'un circuit formé d'un seul métal à structure cristalline, bismuth ou antimoine. M. Becquerel a pu manifester des courants constants au moyen de métaux homogènes cuivre, platine, etc., en faisant en sorte que la chaleur se propageât d'une manière différente de part et d'autre du point échauffé. Pour y parvenir, il suffit de faire un nœud, une spirale, dans le circuit homogène, et de chauffer d'un côté ou de l'autre de cette interruption : le courant se produit dans un sens ou dans l'autre. Si un même fil était écroué dans une partie de sa longueur et recuit dans l'autre, il donnerait aussi naissance à un courant thermo-électrique dont le sens dépendrait de la partie chauffée.

Si l'intensité magnétique[1] était toujours proportionnelle à la température de la soudure plongée dans la source calorifique, rien ne serait plus aisé que la construction d'une table indiquant, pour chaque déviation de l'aiguille, la température correspondante de la soudure, et par suite celle de la source. La thermo-électricité fournirait ainsi une méthode pyrométrique aussi simple dans sa pratique que rigoureuse dans ses résultats. Malheureusement il n'en est pas ainsi : lorsqu'on compare les données du pyromètre à air avec celles obtenues par cette nouvelle méthode, on trouve qu'il est impossible de les relier par une loi simple ; par conséquent, le pyromètre thermo-électrique ne constitue pas un appareil industriel. Les observations scientifiques en ont, seules jusqu'ici, tiré très-souvent un parti avantageux.

Si l'on cherche la loi qui lie l'intensité magnétique du courant à la température de la source calorifique, on trouve que, l'une des soudures étant maintenue à 0°, l'intensité du courant est proportionnelle à l'élévation de température de l'autre soudure, mais jusqu'à 50° seulement (on a opéré avec des couples fer-argent, fer-cuivre, cuivre-platine). Aussi M. Becquerel père a-t-il pu suivre avec la plus grande rigueur la marche de la température dans la terre à diverses profondeurs, dans l'air, dans les végétaux, etc.; le thermomètre électrique qu'il a organisé pour ces expériences restera toujours l'appareil le plus pratique et le plus rigoureux pour ce genre d'observations[2]. Mais si, en opérant

[1] C'est-à-dire mesurée par la déviation d'une aiguille aimantée sur un cadran divisé.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXVII, pages 717, 765, 1858. *Cosmos*, 1863.

avec ces mêmes couples, on augmente l'intensité calorifique de la soudure, l'accroissement de la déviation atteindra son maximum à 300°; puis elle diminuera. Pour un couple fer-cuivre, elle est nulle au rouge sombre, puis, fait bien curieux, *elle change de sens;* ce phénomène se produit, du reste, avec d'autres couples.

M. Pouillet, le premier, songea à mesurer les hautes températures à l'aide des courants thermo-électriques. Il construisit, sous le nom de *pyromètre électrique*, un circuit fer et platine, à l'aide d'un fil de platine passant, sans le toucher, dans l'axe d'un canon de fusil en fer, puis se soudant à la culasse. Il reconnut que le courant, bien qu'augmentant avec la température, ne croissait pas régulièrement : vers 600°, l'accroissement d'intensité était moins rapide qu'avant et après cette limite, et dès lors il était indispensable de graduer l'appareil en le comparant au pyromètre à air.

M. Edmond Becquerel, professeur de physique au Conservatoire des arts et métiers, reconnut que, pour ce genre d'observations, un couple platine-palladium est le meilleur élément thermo-électrique. Sa force électro-motrice diffère peu de celle du couple fer-platine; l'intensité magnétique croît d'une manière régulière avec la température; en outre, ces métaux ne s'altèrent nullement sous l'influence de la chaleur. L'intensité du couple platine-palladium ne peut pas non plus s'exprimer par une loi simple; il faut donc aussi graduer l'instrument par rapport au pyromètre à air : une fois la table construite, ce nouveau couple est susceptible de donner des indications précieuses par leur exactitude. En admettant que les conditions extérieures ne changent pas, les indications galvanométriques sont identiques aux mêmes températures [1].

C'est à l'occasion de la comparaison du couple thermo-électrique platine-palladium au pyromètre à air, à réservoir de platine, employé jadis par M. Pouillet, que des doutes furent émis par M. H. De-

[1] Le savant physicien a comparé la marche de son instrument à celle de thermomètres étalons à mercure, puis à celle du pyromètre à air; il a trouvé qu'une expression de la forme

$$3 \log T - 2 \log I = A - \frac{B}{T}$$

permet d'obtenir la température T correspondante à une intensité I du couran thermo-électrique, A et B étant deux constantes.

ville sur l'exactitude des résultats fournis par cet instrument. Le savant chimiste de l'École normale base ses observations sur la faculté que possède le platine de condenser à sa surface les gaz avec lesquels il se trouve en contact; à ce sujet, il fit cette expérience curieuse : un tube de platine est placé dans l'intérieur d'un tube de porcelaine; ils sont mastiqués et adaptés de telle sorte qu'aucune communication directe n'est possible entre eux. On fait traverser le tube de porcelaine par du gaz hydrogène, et celui de platine par un courant d'air; ces deux gaz sont rigoureusement secs. Si l'appareil est porté à la température rouge, on trouve un excès d'azote et de la vapeur d'eau dans le gaz qui sort du tube de platine, ce qui tend à prouver que l'hydrogène a traversé les pores de ce métal, en vertu de son pouvoir condensant. L'air circulant avec une vitesse de 1 litre par heure, on a obtenu 354 milligr. de vapeur d'eau.

M. H. Deville pense donc que telle est la raison pour laquelle les nombres trouvés par M. Ed. Becquerel sont de 100 degrés centigrades, inférieurs à ceux qu'il a déterminés lui-même par la méthode du thermomètre à poids. Non-seulement, dit M. H. Deville, la porosité des vases de platine portés à une haute température les empêche de conserver les gaz, mais encore l'endosmose force *les gaz du foyer* à se combiner à l'oxygène de l'air contenu dans le réservoir du pyromètre; il se forme alors de l'eau avec diminution de volume, due à la disparition de l'oxygène et à la condensation de la vapeur d'eau par le chlorure de calcium placé dans le réservoir d'air du manomètre. Les divergences entre les données de ces deux expérimentateurs sont en effet considérables; en voici un seul exemple :

POINTS D'ÉBULLITION.	ED. BECQUEREL.	H. DEVILLE.
—	—	—
Cadmium.	746°,3	860°
Zinc.	932°	104,0°

M. Ed. Becquerel a constaté expérimentalement le fait d'endosmose annoncé par M. H. Deville; et dès lors il a cru devoir recommencer ses expériences, opérant, cette fois, non plus avec des pyromètres en platine, mais avec des instruments entièrement

construits en fer, en cuivre, en porcelaine. On a changé aussi le mode d'évaluation des températures par le pyromètre à air, se rendant, par cette nouvelle méthode, complétement indépendant de la masse et de la pression du gaz contenu dans l'appareil. Enfin on a opéré successivement sur différents gaz desséchés avec tous les soins possibles avant leur introduction. Le pyromètre fut chauffé non plus par le foyer directement, mais dans une moufle en fer plongée elle-même dans les vapeurs des métaux dont on voulait déterminer les points d'ébullition. M. Ed. Becquerel a trouvé pour les points d'ébullition de ces métaux, des nombres encore plus bas que ceux qu'avaient donnés ses expériences antérieures. Ainsi, en opérant avec un pyromètre en porcelaine, M. Ed. Becquerel est arrivé pour la température d'ébullition du zinc, à un nombre encore inférieur à 932° trouvé dans la première détermination.

IV

Transformation de la chaleur en lumière. — Nouvelle méthode pyrométrique de M. Edmond Becquerel. — Détermination des plus hautes températures. — Conclusion.

Lorsque le mouvement vibratoire qui anime les molécules des corps solides atteint une certaine limite de vitesse, à la chaleur produite s'ajoute la lumière, les corps deviennent incandescents.

Différents corps, placés dans une même enceinte, dont on élève graduellement la température, n'émettent pas, à partir de leur incandescence, des rayons identiques. L'intensité de la lumière émise par un même corps dépend, comme celle du son, de l'amplitude des vibrations; la nuance des rayons est due au contraire à la rapidité avec laquelle s'exécutent les mouvements moléculaires; elle peut donc être influencée par la nature même du corps, par l'intensité de la source calorifique et peut-être aussi par la nature de cette source elle-même.

Si l'intensité de la lumière émise par un corps, à partir de son incandescence, croît proportionnellement à la quantité de chaleur qu'il absorbe, ces deux quantités pourront se relier par une loi simple et la transformation de la chaleur en lumière fournira aussi une méthode pyrométrique.

Tel est le nouveau problème dont M. Edmond Becquerel a donné la solution. Il s'agissait, dans les nombreuses expériences faites à ce sujet par le savant physicien, de comparer à l'intensité d'une source lumineuse prise pour unité, celle de la lumière émise par le corps, rendu incandescent par la source calorifique dont on cherchait à évaluer la température. La source de lumière qui fut prise pour unité est la flamme de la lampe Carcel ; bien montée, elle peut donner une lumière constante pendant quatre heures environ, temps suffisant pour les observations. On la plaçait dans une lanterne dont l'ouverture était munie d'un diaphragme à fente, ou à trous circulaires, de manière à varier à volonté et la forme et les dimensions de l'image lumineuse. Les corps soumis à l'influence du foyer étaient installés convenablement dans une moufle, plongée horizontalement dans le foyer calorifique.

L'appareil employé ou *pyromètre optique* est représenté fig. 4 [1]. Il se compose de deux lunettes, dont les axes sont placés à angle droit sur une moitié de leur longueur ; elles possèdent un même oculaire O, dans lequel l'observateur peut voir, placées à côté l'une de l'autre, l'image correspondant à l'objectif A et celle fournie par l'objectif B. Le principal but de cet instrument est de permettre à l'observateur de faire varier à volonté l'intensité d'une des images, de manière à les rendre toutes deux identiques.

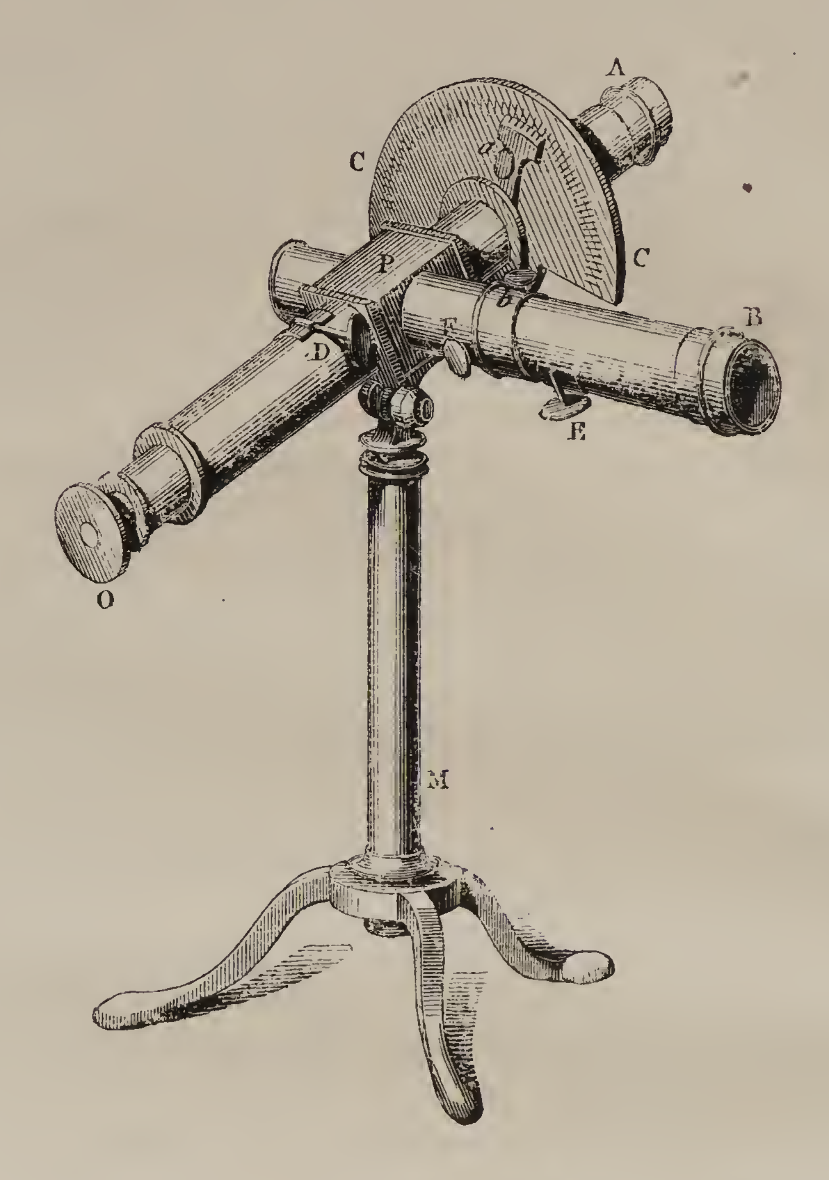
On visera donc en même temps la lumière de la lampe et celle émise par le corps incandescent, après leur avoir donné même forme et même couleur à l'aide de diaphragmes et de verres colorés [2] on ramènera ensuite l'image du corps incandescent à posséder l'intensité de celle prise pour unité ; et le principe optique sur lequel est basé la construction de l'instrument permet l'estimation comparative de l'intensité du corps incandescent.

Une fois maître de sa nouvelle méthode photométrique, M. Edmond Becquerel chercha s'il était possible de lier par une loi quelconque les intensités de la lumière émise par les corps incandes-

[1] La construction de cet instrument est fondée sur la polarisation et la double réfraction ; la variation d'intensité du corps lumineux s'obtient d'après cette loi : « L'intensité du faisceau ordinaire est proportionnelle au cosinus de l'angle que fait la section principale du prisme avec le plan de polarisation. »

[2] Il est essentiel que la forme soit la même pour que la sensibilité de l'œil ne soit pas trompée ; quant à la couleur, on sait que les rayons de différentes couleurs n'ont pas la même intensité.

cents et leurs propres températures. A cet effet, on plaça dans une même moufle la boule du pyromètre à air, la soudure du couple thermo-électrique, puis les fils indicateurs (argent, or, platine) dont on suivait l'intensité lumineuse avec le photomètre.



Fig, 4. — Photomètre optique de M. E. Becquerel.

Les conclusions principales de cet important travail sont du plus haut intérêt. A température égale, tous les corps n'ont pas le même pouvoir d'irradiation; cependant, à ce point de vue, les corps opaques (platine, chaux, magnésie, charbon...) diffèrent peu jusqu'à la température de fusion du platine. Leur intensité lumineuse croît rapidement à mesure que la température s'élève; et, preuve manifeste en faveur du grand principe de la corrélation des forces, la

loi d'extinction des corps incandescents est la même que celle du refroidissement des corps placés dans une enceinte vide. En outre, de même qu'un corps obéit aux lois du refroidissement à une phase quelconque de sa température; de même un corps lumineux obéit à la loi d'extinction, quelle que soit la nuance de la lumière qu'il émette; autrement dit, quelle que soit la phase de vitesse de son mouvement vibratoire.

La lumière émise par un corps soumis à l'action de la chaleur change de nuance à mesure que la température s'élève. M. Edmond Becquerel fixe à 500° la température à laquelle commence l'incandescence; la nuance apparente du corps est alors *rouge très-sombre;* puis, aux rayons rouges viennent s'ajouter ceux orangés et jaunes; vers 960° (fusion de l'argent), le platine incandescent est complétement jaune pour devenir blanc à la fusion de l'or. A mesure que la température s'élève, il se manifeste donc des rayons plus réfrangibles, qui s'ajoutent à ceux qui ont surgi les premiers. Ce fait est la conséquence immédiate de l'origine commune de la chaleur et de la lumière; car, plus la température s'élève, plus le mouvement vibratoire du corps gagne en vitesse; celui-ci doit donc émettre des rayons lumineux plus réfrangibles, puisque le nombre des vibrations croît avec la réfrangibilité.

Parmi les sources calorifiques intenses, nous avons placé le courant électrique émanant d'une pile formée d'un nombre assez considérable d'éléments à grande surface, ou d'une puissante machine magnéto-électrique. On pouvait espérer apprécier la quantité de chaleur développée par cette source, en ayant recours à la méthode pyrométrique optique. Déjà M. Draper avait estimé l'intensité de la lumière émise par un fil de platine incandescent, d'après l'intensité de la chaleur qu'il rayonnait. M. Zollner comparait, de son côté, cette intensité lumineuse à la chaleur intégrale du fil, laquelle était déduite de la conductibilité électrique.

La figure 5 représente la disposition adoptée par M. Ed. Becquerel pour chercher la relation qui peut exister entre l'intensité lumineuse d'un fil rendu incandescent par un courant électrique et sa chaleur propre. Le fil de platine est tenu verticalement par deux pinces B et D qui aboutissent aux pôles d'une pile C et A, un rhéostat est intercalé dans le circuit [1]; on dispose, vis-à-vis ce fil,

[1] On nomme rhéostat tout appareil qui permet de faire varier à volonté la résistance d'un circuit.

une pile thermo-électrique P qui reçoit sur une de ses faces les

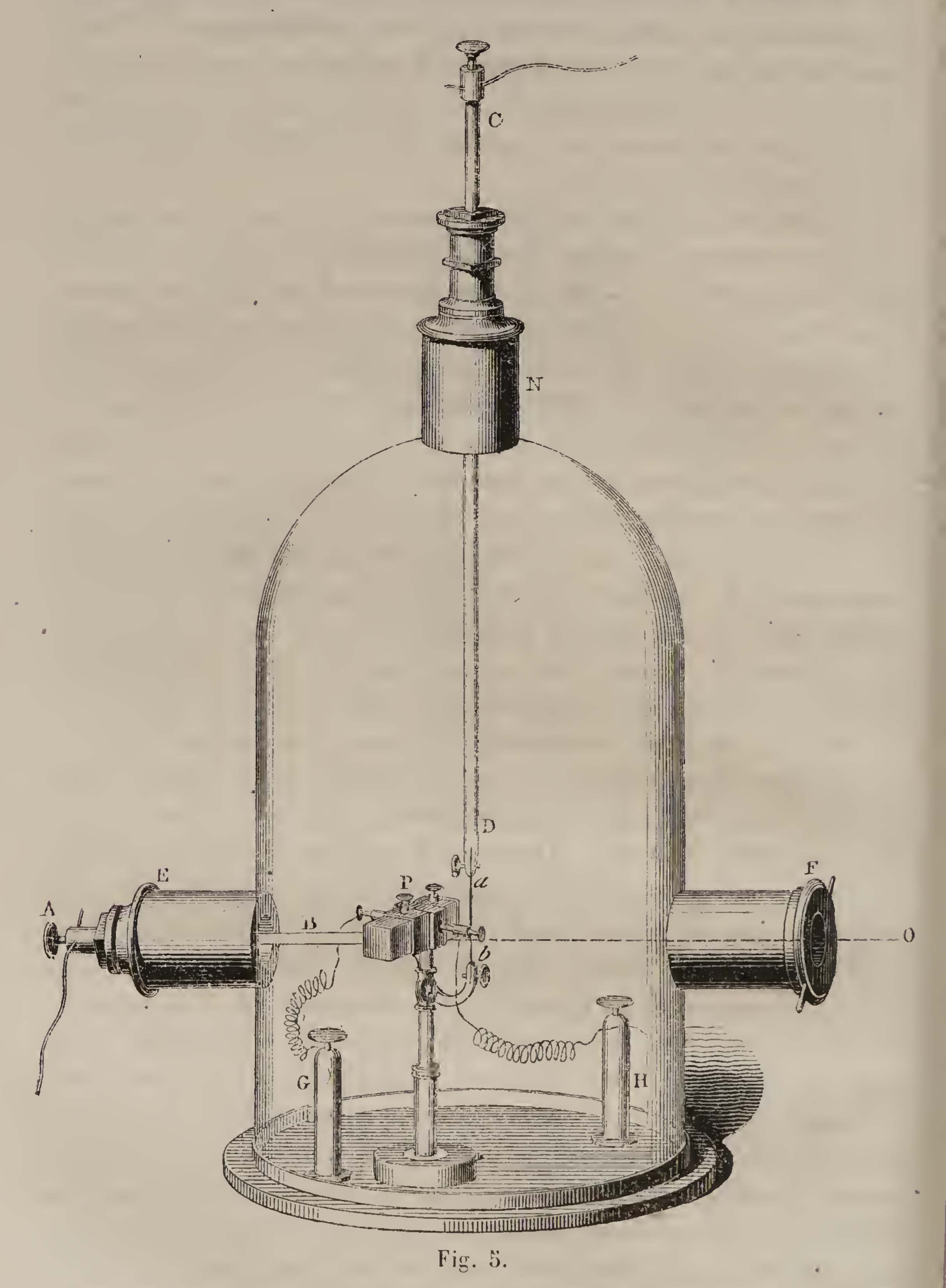


Fig. 5.

rayons calorifiques qu'il émet[1]; les pôles G et H de cette pile

[1] Les figures qui accompagnent notre texte n'ont pas le seul but de l'élucider; elles sont un spécimen du procédé de gravure si ingénieux inventé par M. Du-

aboutissent à un galvanomètre qui donne par ses déviations les intensités du courant thermo-électrique qui correspondent aux diverses phases d'incandescence du fil de platine. Une cloche recouvre le tout, de sorte que l'on peut opérer dans le vide, de façon à anéantir toute considération relative aux courants d'air ou au refroidissement par absorption.

Si l'on observe le degré d'incandescence du fil, que l'on peut faire varier (en augmentant ou diminuant la résistance du circuit), puis, au même instant, la déviation correspondante au rayonnement du fil sur la face de la pile thermo-électrique, on trouvera le rapport qui existe entre les actions lumineuse et calorifique, rapport qui pourra conduire à la connaissance de la température du fil incandescent.

Ces expériences ont conduit M. Ed. Becquerel à une observation digne d'intérêt. Les molécules intérieures du fil sont à une température plus élevée que celles extérieures. En effet, les températures de fusion de l'argent et de l'or, données par l'observation

los, artiste bien connu dans le monde savant. Ces figures, gravées primitivement en taille-douce pour un mémoire inséré dans les *Annales de physique et de chimie*, ont été décalquées sur une plaque de cuivre, puis retouchées au pinceau avec l'encre lithographique, afin de leur donner plus de vigueur (la gravure typographique exigeant, par la nature même de son tirage, une plus grande fermeté que la gravure en taille-douce).

Dans cet état, la planche fut immergée dans un bain de cyanure d'argent et mise en rapport avec le pôle négatif d'une pile dont le pôle positif se reliait à l'anode d'argent. Le courant étant fermé, l'argent se dépose sur le cuivre et non sur les parties isolées par l'encre d'imprimerie. Cette encre s'enlève ensuite avec la benzine, le cuivre apparaît et constitue les noirs de l'épreuve dont l'argent forme les blancs; on oxyde ensuite le cuivre en soumettant la plaque à l'action de la chaleur.

C'est alors qu'il faut avoir recours à ce principe capillaire dont l'application constitue le côté original du procédé : si l'on porte la plaque à la température de 80°, et qu'on projette à sa surface un alliage fusible à cette température le métal liquide adhérera à l'argent, puisqu'il est de nature à le mouiller, et non à l'oxyde de cuivre, qu'il ne mouille pas : à droite et à gauche de chaque ligne du dessin il se formera deux ménisques convexes, le métal liquide s'élevant d'une certaine hauteur au-dessus de la surface de la plaque. Après le refroidissement on a une matrice dont il est facile de faire, par voie galvanique, des clichés aptes au tirage typographique.

Nos lecteurs apprécieront par quelle suite d'opérations, quel esprit ingénieux et observateur M. Dulos a dû apporter à la réalisation de son procédé de gravure. E. S. E.

des intensités lumineuses des fils rendus incandescents par ce procédé, au moment de leur fusion, sont plus basses que celles qu'on a trouvées quand des fils des mêmes métaux, placés dans une moufle, sont soumis à l'action directe d'un foyer de chaleur. Il résulte donc de cette dernière observation que tout fil parcouru par l'électricité possède une température intérieure plus élevée que celle qu'il accuse à l'extérieur par son irradiation.

M. Ed. Becquerel a déterminé, à l'aide de sa nouvelle méthode de pyrométrie optique, les plus hautes températures que la science puisse encore engendrer. La disposition expérimentale restant la même, on comparait l'intensité lumineuse, choisie pour unité, à celle de la lumière émise par les corps rendus incandescents par les sources calorifiques dont il s'agissait de déterminer la plus haute intensité. On introduisit des tiges de platine, de palladium, de cuivre, de fer, de chaux, de magnésie, d'alumine, de quartz, dans la flamme du mélange gazeux oxy-hydrogène (appareil décrit par M. Debray) [1].

Il est difficile d'observer exactement les points de fusion du fer et du cuivre, le premier de ces métaux lançant alors des étincelles qui empêchent toute observation, le second se couvrant d'oxyde plus fusible que le métal lui-même.

Il est impossible aussi de fixer exactement par cette méthode la température limite de la flamme oxy-hydrogène. L'intensité lumineuse des corps soumis à son action doit, en effet, rester stationnaire au moment où ils perdent par rayonnement une quantité de chaleur égale à celle qu'ils reçoivent pour se trouver dans la condition la plus satisfaisante, il faudrait opérer sur une portion filiforme de la substance, de manière que la perte par rayonnement fût rendue presque insensible; la surface du corps étant réduite aux moindres dimensions possibles. Or cette condition n'est pas aisée à réaliser avec la chaux et la magnésie. En s'environnant des plus grandes précautions expérimentales, on est arrivé au nombre 1700° pour la température la plus haute de la flamme oxy-hydrogène; l'erreur est nécessairement négative, en raison des considérations qui précèdent.

M. Edmond Becquerel a aussi voulu mesurer l'intensité calorifique de l'arc voltaïque produit par une pile de 80 éléments Bun-

[1] *Annales de Physique et de Chimie*, 3e série. tome LXV, page 315

seu; il a reconnu que l'éclat du charbon positif l'emporte de beaucoup sur celui du charbon négatif; en admettant que la loi d'irradiation ne varie pas dans ces limites extrêmes, la température du pôle positif de l'arc serait comprise entre 2,000 et 2,100°.

Nous terminons en donnant les températures les plus élevées, exprimées en degrés centigrades, auxquelles la comparaison des diverses méthodes conduit M. Edmond Becquerel.

Argent en fusion.	916°
Or id.	1037
Cuivre id.	1224
Palladium id., de.	1360 à 1380
Platine id., de.	1460 à 1480
Chaux vive à son maximum d'irradiation dans le jet du chalumeau à gaz.	1600
Magnésie à son maximum d'irradiation dans le jet du chalumeau à gaz.	1600
Maximum de température probable du jet oxy-hydrogène.	1700
Maximum de température du pôle positif de l'arc voltaïque.	2000

La détermination des hautes températures n'est donc pas chose si aisée. Deux points rigoureusement connus en sont les seuls termes absolus : la fusion de la glace, l'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique normale. Au delà il faut s'abandonner aux hypothèses théoriques, fondées, il est vrai, sur des raisonnements, des expériences et même des calculs. Que la science se déclare satisfaite, est-ce suffisant ? Certes non, car les recherches du laboratoire doivent être les précurseurs des travaux de l'usine. De toutes les méthodes scientifiques que nous avons si rapidement analysées, aucune n'a fourni un pyromètre industriellement pratique. Les savants avaient retourné la question sous toutes ses faces, en avaient étudié les moindres détails, lui avaient imposé des lois qu'il ont exprimées par des formules; puis, satisfaits de leurs longs travaux d'expérimentations et de calculs, ils avaient abandonné leur œuvre aux hommes d'application.

M. Edmond Becquerel a repris, presque *ab ovo*, ce sujet si digne d'intérêt; il a étudié avec la plus grande conscience les différentes méthodes de mesure proposées par ses prédécesseurs, vérifié leurs relations au pyromètre à air, cherché à simplifier les formules premières, c'est-à-dire à les rendre pratiques.

Portant la question sur un nouveau terrain, l'éminent savant l'a fertilisé. La transformation de la chaleur en lumière lui a inspiré une nouvelle méthode pyrométrique ; au premier abord, elle peut sembler bien savante pour être appliquée à l'industrie, mais elle peut cependant lui rendre d'importants services. Car si les différentes méthodes étudiées n'ont pas encore fourni d'instrument assez simple pour être livré aux mains ignorantes d'un ouvrier, l'ingénieur qui dirige des travaux dont le feu est l'agent premier pourra sans doute déterminer à l'aide de ces nouveaux appareils la plus haute température de son foyer et voir s'il a atteint le degré de chaleur qu'exige la réussite de ses opérations. Ces données essentielles peuvent être rigoureusement obtenues soit avec le pyromètre électrique, soit avec le pyromètre optique.

ERNEST SAINT-EDME.

CHIMIE

LA TRANSMUTATION ET LA CHIMIE MODERNE

A l'époque où, sous l'inspiration de Lavoisier, la chimie fit table rase de toutes les idées *à priori* et voulut s'appuyer seulement sur des faits, elle établit une distinction importante entre toutes les matières qui s'offrent à son étude.

Tandis qu'un certain nombre de substances se réduisent aisément en matières plus simples, que l'eau, par exemple, se décompose facilement en oxygène et en hydrogène, quelques principes au contraire résistent à toutes les forces qu'on fait agir sur eux, et tous les efforts tentés pour les décomposer restent infructueux. De là deux grandes classes de matières : les corps *composés* et les corps *indécomposés* ou *simples*.

Ces deux derniers mots n'ont pas la même valeur, l'un rappelle un fait, l'autre établit un principe; l'un réserve l'avenir, l'autre ferme la porte à toutes les éventualités, et déclare que ce qui n'a pas été fait jusqu'à présent est, en effet, infaisable. — Nos corps indécomposés sont-ils indécomposables, et les soixante-cinq espèces de matières que nous présente aujourd'hui la nature sont-elles essentiellement différentes? Sont-ce les principes mêmes des êtres? Avons-nous au contraire quelque espérance de décomposer les corps réputés simples, ou même de les transformer les uns dans les autres? Les progrès si rapides de la chimie permettent-ils enfin d'entrevoir la solution du problème qui a tant préoccupé les alchimistes?

C'est ce que nous voulons examiner dans cet article.

I

Rareté des métaux précieux au moyen âge. — Travaux des alchimistes. — Leurs idées sur la nature des métaux. — Poudre de projection et pierre philosophale. — Misères des philosophes hermétiques. — Leurs supercheries.

Le moyen âge a toujours souffert de la rareté des métaux précieux. Tandis que l'antiquité, en relations suivies avec l'Orient, put toujours se procurer l'or et l'argent nécessaires aux échanges, les nations occidentales se trouvèrent, après leur établissement définitif, fort dépourvues. — Pendant les invasions, des quantités considérables de métaux précieux furent enfouies et non retrouvées, le clergé immobilisa dans ses vases sacrés, défendus par la piété publique, des masses importantes d'or et d'argent, l'art d'exploiter les mines était tombé en décadence, l'or natif enfin est très-rare en Europe : le moyen d'échange faisait donc certainement défaut. Enfin les fausses idées économiques répandues alors portaient à désirer d'autant plus vivement les métaux précieux, qu'on les croyait la richesse elle-même, tandis qu'ils n'en sont que le signe représentatif.

On chercha par les moyens les plus variés à combler ce déficit; nos rois se font faux monnayeurs : Philippe le Bel altère la valeur des monnaies à plusieurs reprises, preuve que l'or et l'argent étaient beaucoup plus rares que pendant l'antiquité, car les empereurs romains, les maîtres en fait d'arbitraire et de tyrannie, ne semblent pas songer à ce moyen commode d'augmenter leurs richesses[1].

Lorsqu'au quinzième siècle les grands navigateurs commencent leurs longs voyages, ils sont excités surtout par l'espérance d'arriver aux pays lointains riches en mines d'or; dans le traité qui lie Christophe Colomb à Ferdinand et à Isabelle, il est stipulé que l'amiral aura une part dans l'or qu'il pourra trouver aux Indes;

[1] Dans un mémoire fort instructif sur l'art du monnayage chez les anciens, M. Mougès signale seulement une révolte des monnayeurs sous Aurélien, révolte occasionnée par les fraudes dont ils s'étaient rendus coupables, et la crainte d'une juste punition. (*Mémoires de l'Académie des inscriptions et belles-lettres*, tome IX, page 222.)

une de ses premières préoccupations quand il aborde aux Antilles est de s'enquérir de l'existence des mines, et de presser les naturels de lui indiquer d'où provient l'or dont ils se parent.

On comprend donc que la rareté de cette matière précieuse ait excité l'ardeur des chercheurs et qu'ils se soient efforcés de produire artificiellement l'or et l'argent, à l'aide des métaux plus communs, plomb, cuivre, fer ou mercure.

La grave question de philosophie naturelle que nous essayons de présenter aujourd'hui devait être fatalement abordée par l'opération qui promettait les plus immenses bénéfices. Aussitôt qu'on étudiait les transformations de la matière, on devait tenter la métamorphose des métaux vulgaires en métaux précieux.

Rien en effet ne permettait de prévoir que cette transformation fût impossible ; on assistait depuis des siècles à des métamorphoses si singulières qu'on pouvait tenter celle-là. Que de nos jours un ignorant plonge un clou de fer dans une dissolution de sulfate de cuivre, il verra ce clou se recouvrir de cuivre, et pourra sans doute en conclure que le fer s'est transformé en cuivre; la substitution d'un métal à un autre pourra fort bien lui apparaître comme une transmutation. Qu'il chauffe de la céruse ou de la litharge avec du charbon dans un creuset, et bientôt il verra le plomb se rassembler en un culot brillant; le métal n'a-t-il pas été créé en quelque sorte dans cette opération? Nous savons aujourd'hui que la céruse ou la litharge sont décomposées par le charbon, les alchimistes l'ignoraient et pouvaient croire le plomb formé de litharge et de charbon.

Toutefois, ce qui parut frapper davantage les alchimistes, ce sont ces phénomènes de fermentation dont nous avons à différentes reprises entretenu les lecteurs de l'*Annuaire*[1].

Du moût de raisin abandonné à lui-même, éprouve un vif mouvement de fermentation, des bulles gazeuses viennent crever à la surface, et après quelques jours la liqueur sucrée est remplacée par une boisson spiritueuse et enivrante.

Si l'on ajoute une faible quantité de matière déjà fermentée à la décoction de l'orge germée, elle suffira pour y développer un mouvement analogue, et une tisane insipide deviendra encore une boisson enivrante. Ces phénomènes remarquables frappèrent vive-

[1] *Annuaire scientifique*, 1re année, page 105; 2e année, page 355.

ment les esprits, et dans la recherche où l'on s'engageait on tenta de les reproduire. La grande préoccupation scientifique du moyen âge fut la découverte du ferment destiné à déterminer la transformation du plomb en argent ou en or; la pierre philosophale, la poudre de projection ne sont autre chose que ces ferments spéciaux.

Il y a même entre les idées admises aujourd'hui sur la nature des ferments et celles qui guidaient les alchimistes des ressemblances frappantes. Nous avons indiqué, dans des articles précédents, comment l'opinion de Cagniard de Latour, de Turpin sur la vitalité des ferments avait reçu un développement inattendu des expériences de M. Pasteur; eh bien! les alchimistes pensaient comme nous sur ce sujet, et de même que nous reconnaissons aujourd'hui comme êtres vivants les globules de levûre de bière, ferment alcoolique, les *mycoderma aceti*, ferment acétique, etc., de même les alchimistes pensaient que la pierre philosophale, ferment d'or pour ainsi dire, était animée, vivante, et ils espéraient lui donner la vie par une sorte de génération spontanée, comme nous dirions aujourd'hui, de la même façon que quelques naturalistes croient encore voir se développer des êtres vivants ne provenant pas de parents semblables à eux.

Les alchimistes croyaient « que[1] la production de l'or était le but où la nature tendait dans les mines, et qu'elle avait été empêchée et détournée quand elle avait produit les autres métaux qu'ils ont nommés imparfaits. »

De là une foule d'essais pour purifier ces métaux imparfaits, pour achever l'œuvre incomplète de la nature, de là surtout la recherche de la *semence* de l'or pouvant le multiplier pendant la fermentation, comme la levûre de bière, semence de fermentation, augmente son poids quand elle est ajoutée à la décoction du malt de l'orge germée.

« Quelques-uns d'eux, dit encore Lemery, pour y parvenir font un mélange de ces métaux avec des matières qui servent à les purifier de leurs parties les plus grossières, et les font cuire par de grands feux; les autres les mettent digérer dans des liqueurs spiritueuses, voulant par là imiter la chaleur dont la nature se sert, et prétendant les faire pourrir pour en tirer ensuite le mercure

[1] Lemery. *Traité de chimie*, 10e édition, 1713, page 77.

qu'ils disent être une matière très disposée à faire de l'or. Les autres recherchent la semence de l'or dans l'or même, et ceux-là se tiennent assurés de l'y trouver, de même qu'on trouve la semence d'un végétal plutôt dans le végétal même qu'ailleurs..... Les autres cherchent la semence de l'or dans les minéraux comme dans l'antimoine, où ils veulent qu'il y ait un mercure et un soufre semblable à celui de l'or. »

L'*œuf philosophique*, dont il est si souvent question dans les ouvrages des philosophes hermétiques, était un vase maintenu pendant longtemps à une douce chaleur; la génération de la pierre philosophale devait s'y accomplir comme la génération de l'animal a lieu dans la matrice de la femelle.

Pendant près d'un millier d'années, on s'acharna à cette poursuite : à cela rien d'étonnant. Le but paraissait si prochain, on allait l'atteindre. Alors quelle puissance, quelle richesse !

Le souffleur est là devant son fourneau, le feu brille, l'essai cette fois est bien conçu; toutes les prescriptions des anciens ont été suivies, lui seul a pu interpréter leur vrai sens; aujourd'hui la peine, demain la fortune. Sa rêverie l'entraîne, le monde lui appartient : châteaux à tourelles élançant leurs toits pointus vers le ciel, chevaux caparaçonnés d'or et de soie piaffant au portail, table étincelante, doux sourires enfin, toujours prodigués aux vainqueurs; tout cela est à lui si l'essai réussit. Misère ! L'expérience a manqué, le découragement est venu, mais il n'est pas de longue durée; on avait la foi, les anciens avaient réussi, la tradition l'assurait, on pourrait réussir également. Aucune peine ne coûtait; on sacrifiait tout au grand œuvre. Le soir, sous le porche de Notre-Dame, où se réunissaient habituellement les alchimistes parisiens, on les voyait arriver consumés de travail, les yeux rougis, les mains brûlées, venant réchauffer leurs espérances à celles de leurs confrères; c'étaient de longues conversations pleines de réticences et d'obscurités, car chacun gardait son secret. Si une imprudence allait mettre un rival sur la voie, et s'il arrivait le premier, quel désespoir ! A force de recherches et de travaux, à force d'essayer au hasard toutes sortes de mélanges et de combinaisons, ils trouvèrent la poudre à canon, l'alcool, les acides énergiques, les remèdes héroïques renfermant le mercure et l'antimoine; et quand ils s'éveillèrent de ce long rêve au dix-huitième siècle, ils avaient, dans cette poursuite obstinée, accumulé tant

de faits, observé tant de métamorphoses, qu'il ne fallait plus qu'une intelligence lucide et claire pour faire une science de ce chaos. Ce fut la gloire de Lavoisier.

Par une chance singulière, les travaux des alchimistes démontrèrent précisément l'impuissance des forces actuellement connues à décomposer les métaux, à les transformer les uns dans les autres. Ils ne réussirent jamais, en effet, à cette transmutation tant de fois essayée ; et si l'opinion contraire fut souvent assez répandue, elle fut surtout entretenue par d'habiles imposteurs qui soutiraient, par leurs supercheries, de grosses sommes aux esprits crédules.

Geoffroy l'aîné inséra, en 1722, aux Mémoires de l'Académie des sciences, un écrit *sur les supercheries concernant la pierre philosophale*, pour mettre le public en garde contre elles.

« Quoiqu'il y ait quelque inconvénient, dit-il, à mettre au jour les tromperies dont se servent ces imposteurs, parce que quelques personnes pourraient en abuser, il y en a cependant beaucoup plus à ne pas les faire connaître, puisqu'en les découvrant on empêche un très-grand nombre de gens de se laisser séduire par leurs tours d'adresse.

« C'est donc dans la vue d'empêcher le public de se laisser abuser par ces prétendus philosophes chimistes, que je rapporte ici les principaux moyens de tromper qu'ils ont coutume d'employer et qui sont venus à ma connaissance.

« Comme leur principale intention est pour l'ordinaire de faire trouver de l'or ou de l'argent en la place des matières minérales qu'ils prétendent transmuer, ils se servent souvent de creusets ou de coupelles doublées, ou dont ils ont garni le fond de chaux, d'or ou d'argent ; ils recouvrent ce fond avec une pâte faite de poudre de creuset incorporée avec de l'eau gommée ou un peu de cire, ce qu'ils accommodent de manière que cela paraît le véritable fond du creuset ou de la coupelle.

« D'autres fois ils font un trou dans un charbon où ils coulent de la poudre d'or ou d'argent qu'ils referment avec de la cire ; ou bien ils imbibent des charbons des dissolutions de ces métaux, et ils les font mettre en poudre pour projeter sur les matières qu'ils doivent transmuer.

« Ils se servent de baguettes ou de petits morceaux de bois creusés à leur extrémité, dont le trou est rempli de limaille d'or

et d'argent, et qui est rebouché avec de la sciure fine du même bois. Ils remuent les matières fondues avec la baguette qui, en se brûlant, laisse dans le creuset le métal fin qu'elle contenait.

« Ils mêlent d'une infinité de manières différentes l'or et l'argent dans les matières sur lesquelles ils travaillent; car une petite quantité d'or ou d'argent ne paraît pas dans une grande quantité de mercure, de régule d'antimoine, de plomb, de cuivre ou de quelque autre métal..... »

II

La même espèce de matière se présente sous des formes différentes et avec des propriétés dissemblables. — Allotropie. — Isomérie. — Dimorphisme.

Les alchimistes n'ont certainement jamais résolu le problème à la poursuite duquel ils ont dépensé tant de forces, de temps et de peines, nous en sommes convaincus. Mais depuis quatre-vingts ans la science a marché : nous sommes mieux armés que nos devanciers; nous sommes plus habiles, plus savants; nous disposons de forces qui leur étaient inconnues : peut-être pourrons-nous triompher des obstacles qui les ont arrêtés. Est-il certain, en effet, que toutes les matières que nous croyons simples aujourd'hui le soient réellement? L'or et le platine, qui ont tant d'analogie, sont-ils bien réellement formés de matières différentes? Le chlore, le brôme et l'iode, dont les combinaisons sont si voisines les unes des autres, ne sont-ils pas la même matière, formée d'une seule espèce de molécules diversement arrangées? N'avons-nous jamais vu la même matière affecter des formes aussi différentes, des propriétés aussi dissemblables que celles que présentent deux espèces de matières considérées actuellement comme complétement différentes, et n'en peut-on pas conclure que notre distinction des corps en simples et composés doive disparaître tôt ou tard?

Qu'y a-t-il, au premier abord, de plus différent que le diamant et le noir de fumée? Quelle ressemblance peut-il exister entre une matière dense, admirablement diaphane et réfringente, et un corps noir, léger, tout à fait opaque? Comment ose-t-on même les comparer? Il l'a bien fallu cependant, puisque ces deux corps ne sont l'un et l'autre que du carbone.

On comprend que ce n'est pas sans peine qu'une pareille opi-

nion s'est établie, et qu'il a fallu pour la faire adopter, nombre d'expériences et des plus habilement faites. Newton paraît avoir émis le premier l'idée que le diamant était combustible. Le diamant est probablement « un corps onctueux coagulé, » avait-il dit ; il appuyait cette opinion sur les propriétés réfringentes du diamant, remarquant, sans savoir l'expliquer et sans que nous le sachions davantage aujourd'hui, que les corps qui réfractent le mieux la lumière sont les plus combustibles [1]. La propriété combustible du diamant fut vérifiée à Florence : un diamant, placé au foyer d'une forte lentille, brûla dans l'air et disparut. Tout le monde ne fut pas convaincu cependant, et, à la fin du dix-huitième siècle, les Mémoires de l'Académie des sciences [2] sont remplis du récit d'expériences entreprises dans le but de vérifier si le diamant peut brûler. Notre grand Lavoisier reconnut que non-seulement il était combustible, mais encore qu'il donnait en brûlant « une espèce de gaz qui précipite l'eau de chaux et qui a beaucoup de ressemblance avec le gaz dégagé des effervescences, des fermentations et des réductions métalliques ; » enfin, sir H. Davy démontra plus tard, par plusieurs expériences décisives [3], que le diamant était du charbon pur ; dans l'une, après avoir brûlé le diamant dans le gaz oxygène et l'avoir ainsi converti en acide carbonique, il fixa ce gaz à l'état de carbonate de chaux ; puis, décomposant ce sel par le potassium, il en tira le carbone provenant du diamant à l'état de noir de fumée. Dans une autre opération, un poids déterminé de diamant fut placé dans une cloche remplie d'oxygène, et chauffé à l'aide des rayons solaires ; le diamant brûlé donna précisément le même poids d'acide carbonique qu'aurait donné un poids semblable de charbon de bois ou de graphite. Ainsi, des quantités semblables de diamant et de charbon de bois ou de noir de fumée donnent des poids égaux d'acide carbonique, des poids égaux de la même espèce de matière, et il faut bien

[1] On peut vérifier ce fait avec un liquide très-commun aujourd'hui, le sulfure de carbone très-inflammable, beaucoup plus encore que l'éther ; le met-on dans un verre avec de l'eau, il tombe goutte à goutte au fond et présente une couche réfringente très-différente de l'eau placée au-dessus. La forte réfringence du phosphure d'hydrogène liquide, si combustible qu'il s'enflamme spontanément à l'air, a été la cause de sa découverte par M. P. Thénard.

[2] Voir dans les *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1772, tome II es expériences relatives à cette combustion du diamant.

[3] *Annales de chimie et de physique*, 2e série, tome I, page 16. 1816.

convenir que le diamant, le noir de fumée et le charbon, susceptibles de se transformer, sous l'influence du même gaz oxygène, en un même gaz carbonique, sont formés par la même espèce de matière se présentant sous des aspects très-divers.

Le phosphore nous présente encore un exemple curieux d'*allotropie*, c'est-à-dire d'une matière unique affectant les aspects les plus différents, ayant les propriétés les plus dissemblables.

Le phosphore, extrait des os par la méthode qu'a indiquée le chimiste suédois Schéele, se présente sous la forme d'une masse blanche, translucide lorsqu'elle est fraîchement préparée. Ce phosphore blanc est soluble dans ce liquide combustible, d'une odeur infecte, dont les emplois se multiplient chaque jour : le sulfure de carbone ; celui-ci évaporé abandonne le phosphore sous forme de petits cristaux dérivant d'un cube (dodécaèdres rhomboïdaux) ; le phosphore blanc cristallin est fusible à 43°, inflammable vers 60° ; il possède une propriété funeste : c'est un poison, un poison violent que chacun aujourd'hui a sous la main, dont les allumettes sont une source intarissable, et qui a déjà servi à plus d'un crime.

Ce phosphore blanc, exposé à l'action de la lumière pendant un certain temps, change d'aspect, rougit, affecte ainsi une seconde forme, qu'on lui fait prendre plus facilement si, comme l'a indiqué M. Schrœtter, de Vienne, on le maintient pendant plusieurs jours à une température de 170° environ.

Cette température soutenue a profondément modifié le phosphore : de blanc, il est devenu rouge ; de cristallin, amorphe ; de soluble dans le sulfure de carbone, insoluble. Il ne s'enflamme plus à 60°, mais bien à 160° seulement ; tout à l'heure c'était un poison violent, c'est maintenant une matière parfaitement inerte, qui peut être ingérée sans danger [1]. Si profond, si radical que soit le changement, il ne constitue pas encore une transmutation ; en chauffant le phosphore, on ne l'a pas transformé en une nouvelle matière, car si nous brûlons ce phosphore rouge, il nous donnera, comme le phosphore blanc, en même poids que le ferait le phosphore blanc, de l'acide phosphorique. La nature même de la substance n'est pas changée ; son arrangement moléculaire seul

[1] Il est évident que tôt ou tard l'administration forcera les fabricants d'allumettes chimiques à n'employer que le phosphore rouge.

a été modifié, assez profondément toutefois, il faut le reconnaître, pour amener un changement surprenant dans l'ensemble des propriétés. Qu'une même espèce de matière puisse, suivant qu'elle a été chauffée pendant quelque temps ou qu'elle est restée à la température ordinaire, devenir inoffensive quand elle était singulièrement vénéneuse; que ce changement radical ait lieu sans addition d'aucune espèce de matière pondérable, c'est là, à coup sûr, un fait des plus surprenants et des plus inattendus. Si la remarquable découverte de M. Schrœtter n'est pas une transmutation, il faut avouer que jamais on n'en a été plus près.

Ainsi, nous le répétons, la nature nous offre la même essence de matière affectant les formes les plus différentes; l'art sait modifier très-profondément les propriétés générales de cette matière, il sait même détruire les propriétés vénéneuses, il montre quelle immense importance a l'*arrangement moléculaire;* mais il est une limite qu'il est impuissant à franchir; il ne transforme pas l'essence même de la matière, il lui fait revêtir les aspects les plus dissemblables sans savoir changer sa nature.

Des corps composés d'espèces de matières semblables, réunis en poids égaux, nous offrent encore des différences très-remarquables dans les propriétés; les beaux cristaux transparents de spath d'Islande, qui présentent nettement la double réfraction, c'est-à-dire qui donnent deux images d'un objet sur lequel on les place, ont la même composition chimique que le marbre, que notre pierre à bâtir de Paris et que notre craie. La chimie organique présente enfin un nombre très-considérable d'exemples d'*isomérie*, c'est-à-dire de matières ayant des propriétés chimiques très-différentes avec des compositions identiques. La dextrine, notamment, qu'on obtient en traitant l'amidon par l'acide sulfurique, présente une composition exactement semblable à celle de cet amidon, mais en diffère par l'ensemble de ses propriétés; l'urée, qui existe dans l'urine, présente la même composition chimique que le cyanate d'ammoniaque, bien qu'elle n'ait pas les mêmes propriétés; il en est de même de plusieurs éthers composés, d'hydrogènes carbonés[2], etc.

[1] Voir sur ce sujet la *Chimie organique fondée sur la synthèse* de M. Berthelot, où tout ce qui concerne l'isomérie est traité avec beaucoup de développements. M. Berthelot est revenu récemment sur ce sujet dans une leçon remarquable par l'étendue et la profondeur des aperçus, qui sera publiée dans le *Recueil de la Société chimique*.

Ainsi il n'est pas rare de rencontrer en chimie des substances dites isomères qui, possédant des propriétés très-différentes, soient cependant formées des mêmes matières combinées suivant les mêmes poids. Ne serait-ce pas là un argument en faveur des idées de transmutation ? Est-il possible d'affirmer que l'or et le platine, doués de propriétés assez semblables, soient formés d'une matière essentiellement différente ? Évidemment on ne peut rien affirmer, on ne peut que répéter encore que si on engage dans quelque combinaison que ce soit l'or ou le platine, on les y retrouvera toujours, et que jamais il n'arrivera qu'une dissolution d'or donne du platine ou réciproquement ; toutes les *expériences* viennent condamner absolument les généralisations trop hardies qu'on voudrait tirer des faits curieux que nous venons de signaler relativement à l'isomérie ou à l'allotropie.

III

Découverte du cyanogène. — Hypothèse de l'ammonium. — Les corps composés peuvent jouer le même rôle que les corps simples. — Importance de la théorie des radicaux composés. — Interprétation nouvelle de M. Cahours.

Une expérience négative, on le comprend facilement, n'a jamais une valeur absolue ; aussi les idées que les faits précédents ont fait naître sur la composition de nos corps réputés simples peuvent subsister malgré l'impossibilité où nous sommes de les appuyer expérimentalement. Ces idées ont même été singulièrement affermies par quelques découvertes qui eurent la plus grande influence sur la marche de la chimie.

Dans un travail mémorable sur les matières qui fournissent le bleu de Prusse et sur l'acide prussique, le plus violent de tous les poisons, Gay-Lussac finit par isoler une combinaison de charbon et d'azote qui, dans un grand nombre de circonstances, se conduit comme un corps simple de la famille du chlore et de l'iode. Le *cyanogène*[1] s'unit directement avec les métaux ; il forme avec l'hydrogène une combinaison tout à fait semblable à celles que

[1] Son nom régulier serait carbure d'azote ; on a formé son nom cyanogène (j'engendre le bleu) comme celui des corps simples, en rappelant une de ses propriétés les plus remarquables ; le bleu de Prusse renferme ce cyanogène.

donnent le chlore, le brôme et l'iode. N'y avait-il pas là de quoi faire douter de la simplicité du chlore, de l'iode, à côté desquels le cyanogène vient se placer si naturellement; puisqu'un corps composé joue le même rôle qu'eux dans les combinaisons, puisque, uni avec les métaux, il donne des substances présentant le même aspect extérieur, les mêmes réactions que les combinaisons correspondantes du chlore et de l'iode, n'en faut-il pas conclure que ces derniers corps sont composés? N'est-ce pas un argument en faveur de la possibilité de décomposer nos corps simples actuels?

Le cyanogène n'est pas, au reste, le seul exemple d'un corps composé jouant dans les combinaisons le rôle de corps simple, les sels ammoniacaux offrent encore aux savants un profond sujet de méditation. Les combinaisons ammoniacales présentent les analogies les plus grandes avec celles que fournissent la potasse et la soude, analogies telles qu'avant la mémorable découverte du potassium et du sodium par H. Davy, en 1807, on pensait que les alcalis fixes renfermaient de l'azote, comme l'alcali volatil[1].

Quand il fut démontré que la potasse et la soude sont des oxydes métalliques, on voulut, malgré la différence des compositions, rapprocher de ces bases la combinaison d'ammoniaque et d'eau qui neutralise les acides, comme le fait la potasse, et Ampère proposa de considérer comme un métal complexe le corps formé de gaz ammoniac et d'hydrogène qu'on peut supposer exister dans la combinaison de l'ammoniaque avec l'eau ; ce métal complexe non isolé encore a pris le nom d'*ammonium*. Les ressemblances de la potasse, de la soude et de l'ammoniaque se trouvent dès lors expliquées, puisque la potasse étant de l'oxyde de potassium, la soude de l'oxyde de sodium, l'ammoniaque devient de l'oxyde d'ammonium. S'il est impossible encore d'isoler l'ammonium, on met en évidence la nature métallique de la combinaison du gaz ammoniac avec l'hydrogène par une des expériences les plus curieuses qu'il soit possible de réaliser dans un cours public.

On combine facilement les métaux potassium et sodium avec le mercure, on obtient ainsi un amalgame un peu moins fluide que le mercure, mais conservant l'aspect métallique; c'est un fait remarquable, en effet, que les combinaisons des métaux entre eux,

[1] Fourcroy. *Philosophie chimique*. 1806.

les alliages ou les amalgames (les alliages prennent ce nom quand le mercure est un de leurs principes constituants), conservent l'aspect métallique, tandis que les combinaisons qu'ils donnent avec les corps métalloïdes, oxygène, soufre, chlore, phosphore, etc., ont des aspects tout différents, Qu'on prenne cet amalgame de sodium et qu'on le mélange dans un tube de verre avec du sel ammoniac, et on verra immédiatement se produire une réaction très-vive, l'amalgame augmente de volume rapidement, se gonfle; c'est maintenant une masse métallique semi-fluide, brillante, boursouflée, légère, sur laquelle le doigt laisse l'empreinte; c'est l'amalgame d'ammonium[1]. Ainsi ce métal complexe est là, uni avec le mercure; il démontre victorieusement sa nature métallique par l'aspect de son amalgame; malheureusement la combinaison est peu stable, elle se détruit spontanément; tous les efforts tentés pour en isoler l'ammonium restent infructueux, et on ne peut jamais tirer de l'amalgame d'ammonium autre chose que de l'hydrogène et de l'ammoniaque.

Si la découverte du cyanogène, si la belle hypothèse d'Ampère et les curieuses expériences précédentes n'ont pas encore conduit à la décomposition du chlore ou à celle des métaux alcalins, elle a eu néanmoins une grande importance en permettant aux savants d'employer une hypothèse très-féconde, celle des radicaux composés. Toutes les analogies signalées entre la potasse, la soude et l'ammoniaque se trouvaient si heureusement expliquées par l'hypothèse de l'ammonium, que l'on ne tarda pas à imaginer un grand nombre d'hypothèses analogues. Il devint dès lors possible de comparer les réactions de la chimie organique à celles de la chimie minérale, en supposant l'existence dans un alcool, par exemple, d'un corps complexe jouant le rôle de corps simple, conservant son groupement dans toutes les combinaisons, se retrouvant dans chacune d'elles comme un métal se retrouve dans les combinaisons binaires ou ternaires dans lesquelles il est engagé.

[1] L'équation suivante réprésente cette réaction :

$HgNa$	$+$	AzH^4Cl	$=$	$HgAzH^4$	$+$	$NaCl$
Amalgame de sodium.		Chlorure d'ammonium ou sel ammoniac.		Amalgame d'ammonium.		Chlorure de sodium ou sel marin.

Le baron de Liebig publia, vers 1840, un traité de chimie organique basée sur cette théorie des radicaux composés qui souleva toutefois des critiques assez vives; c'est alors que fut prononcé ce mot resté célèbre et qui caractérise nettement cette masse d'hypothèses, que les chimistes étaient obligés d'accumuler pour soutenir la théorie des radicaux composés; la chimie organique, avait-on dit, est l'étude des corps qui n'existent pas.

Cette critique montre que tous ces prétendus corps composés jouant le rôle de corps simples n'étaient pas susceptibles d'être isolés à la façon du cyanogène; on chercha, en effet, longtemps, sans y réussir, à obtenir l'*éthyle*, le *méthyle*, hydrogènes carbonés supposés exister dans l'esprit de bois ou dans l'esprit-de-vin [1], et y jouant le rôle de corps simples; et quand enfin on finit par isoler des hydrogènes carbonés présentant la composition du méthyle et de l'éthyle, ils ne possédèrent aucune des propriétés des véritables radicaux, c'est-à-dire qu'ils furent impuissants, par exemple, à se combiner directement avec le chlore ou avec l'oxygène pour donner des éthers correspondants.

Ainsi les espérances qu'avait fait naître la découverte du cyanogène sur la possibilité de décomposer quelques-uns de nos corps simples ne se vérifièrent en aucune façon; il y a plus : en y réfléchissant bien, on voit qu'il est possible d'expliquer les propriétés des radicaux composés sans rattacher à leur existence l'idée de la complexité de nos corps réputés simples. En effet, on n'avait d'autre raison pour dire que le cyanogène se conduisait comme un corps simple, que la facilité avec laquelle il pouvait s'unir aux corps simples eux-mêmes pour contracter des combinaisons. Ainsi le potassium, le sodium, le phosphore, le soufre nous apparaissent comme des corps simples, non-seulement parce que tous les efforts tentés jusqu'à présent pour en tirer plusieurs espèces de matières

[1] Les personnes familiarisées avec les notations qu'emploient les chimistes savent que l'on représente l'esprit de bois par la formule $C^2H^4O^2$, et l'esprit-de-vin par la formule $C^4H^6O^2$; on explique facilement toutes les propriétés de ces alcools en supposant que le premier corps est l'hydrate de l'oxyde de méthyle, le second de l'hydrate d'oxyde d'éthyle, et on les formule ainsi :

$$\underbrace{C^2H^3}_{\text{méthyle}}\ O.\ HO. \qquad \underbrace{C^4H^5}_{\text{éthyle}}\ O.\ HO.$$

C^2H^3Cl, $C^2H^3O.SO^3$, C^4H^5Cl, $C^4H^5O,C^4H^3O^3$ deviennent le chlorure de méthyle, le sulfate de méthyle, le chlorure d'éthyle, l'acétate d'éthyle, etc.

ont échoué, mais encore parce que leurs affinités sont si vives, parce que ces corps s'unissent avec tant de facilité aux substances que l'on met en contact avec eux, qu'il est évident que ces affinités ne sont pas satisfaites.

Chaque substance tend ainsi vers un certain état de combinaison qu'on peut considérer comme son état d'équilibre normal ; quand elle est y est arrivée, elle est en général neutre, inoffensive, stable, difficile à combiner. Un exemple nous fera sentir les modifications qui surviennent quand les affinités des corps sont satisfaites. L'acide sulfurique est une substance très-corrosive, très-vénéneuse ; la peau ne peut en supporter le contact même un instant ; il se combine avec une foule de matières ; il ronge, il détruit, il décompose. La chaux présente des propriétés analogues : mise en contact avec l'eau, elle s'échauffe au point d'enflammer la poudre ; avec l'acide sulfurique, elle dégage une quantité de chaleur telle qu'elle peut devenir incandescente ; mais la combinaison faite, les deux substances ont leurs affinités satisfaites, et toutes les propriétés corrosives qu'elles présentaient ont disparu ; la combinaison de la chaux et de l'acide sulfurique, c'est le plâtre qui sert à recouvrir nos murs, à activer la végétation, qui n'est plus comparable quant à ses affinités à ses deux principes constituants.

Ainsi, tant qu'un corps ne sera pas arrivé à son état d'équilibre stable, tant qu'il devra tendre vers cet état, tant qu'il sera incomplet pour ainsi dire, il aura des affinités énergiques analogues parfois à celles que peut présenter un corps simple. La famille de l'azote, du phosphore et de l'arsenic, va nous en fournir des exemples ; les deux groupements stables de cette famille sont représentés par les formules AzX^3, AzX^5 ou PX^3, PX^5 ; c'est-à-dire que les principales combinaisons de l'azote, du phosphore et de l'arsenic, sont contractées dans les proportions d'une partie d'azote, de phosphore ou d'arsenic pour 3 ou 5 des autres corps simples. Toutes les fois que nous rencontrons un autre groupement, il sera instable et tendra vers ceux qui ont le plus de stabilité[1]. Le grou-

[1] On peut citer un exemple remarquable : AzO^2 le bioxyde d'azote s'unit directement à l'oxygène pour donner les vapeur rouges d'hypoazotide Az^2O^8, formé de AzO^3 et de AzO^5, ainsi que l'indique la réaction :

$$2(AzO^2) + 4O = (AzO^3 . AzO^5)$$

pement AzX^5 ou PX^5 présente encore plus de stabilité que AzX^3 ou PX^3, et les corps correspondant à cette dernière formule ont souvent encore une tendance vers la combinaison plus complexe AzX^5 ou PX^5. C'est ainsi que le protochlorure de phosphore, par exemple, appartenant au groupement PX^3, puisqu'il se formule PCl^3, tend à arriver au groupement plus stable PX^5, et peut alors se combiner à du chlore, à de l'oxygène, à du soufre, exactement comme le ferait un corps simple; c'est là aussi la propriété du cyanogène.

Ce corps dérive du gaz ammoniac qui appartient au groupement AzX^3, puisqu'il se formule AzH^3; on peut transformer le gaz ammoniac en combinaison de cyanogène et d'hydrogène, en acide cyanhydrique ou prussique, en le faisant passer sur une colonne de charbon chauffé au rouge, $Az\left\{\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right.$ gaz ammoniac se transforme ainsi en $Az\left\{\begin{matrix}C\\C\\H\end{matrix}\right.$ acide cyanhydrique; deux des atomes d'hydrogène du gaz ammoniac ont été remplacés par deux atomes de charbon; on peut enlever ce dernier atome d'hydrogène, le remplacer par du mercure pour obtenir $Az\left\{\begin{matrix}C\\C\\Hg\end{matrix}\right.$ puis enfin calciner ce cyanure de mercure et obtenir dans ce cas du cyanogène isolé qui se formule $Az\left\{\begin{matrix}C\\C\\ \end{matrix}\right.$, on voit nettement que c'est là un corps incomplet; il lui manque un atome de corps simple pour arriver au groupement AzX^3 plus stable, et, par conséquent, il tendra à se compléter avec de l'oxygène, de l'hydrogène, du chlore, de l'iode ou un métal, exactement comme le ferait un corps simple.

Si donc les corps simples ont, en général, des affinités puissantes, s'ils se combinent énergiquement entre eux, c'est qu'ils tendent vers un certain état d'équilibre qu'ils ne peuvent atteindre qu'à la condition d'entrer en combinaison. Certains corps composés, dérivant d'autres corps composés complexes, tendent aussi avec une grande énergie vers ces groupements stables qu'ils ne peuvent acquérir que par la combinaison, qu'ils contractent dès

lors avec une énergie qui rappelle celle des corps simples ; toutefois, on le comprend maintenant, on ne saurait absolument rien en conclure quant à la composition des corps qui ont résisté jusqu'à présent à tous les efforts qu'on a tentés pour les décomposer.

Nous voyons donc aujourd'hui que les espérances qu'avait fait naître la découverte du cyanogène, relativement à la probabilité que le chlore, le brôme et l'iode soient des corps complexes, se trouvent diminuées par l'élégante interprétation qu'a donnée M. Cahours des propriétés des radicaux composés [1].

Il faut reconnaître toutefois que cette interprétation, satisfaisante dans une certaine mesure, laisse un grand nombre de faits complétement dans le vague. Je comprends bien que c'est pour se compléter, pour arriver au groupement AzX^5, plus stable, que le cyanogène s'unit à l'oxygène, à l'hydrogène, aux métaux ; mais je ne vois pas du tout pourquoi le corps incomplet dérivant de l'ammoniaque a des analogies avec les corps simples, chlore, brôme et iode ; pourquoi les cyanures sont isomorphes aux chlorures, pourquoi l'acide cyanhydrique a le même groupement que l'acide chlorhydrique. Je comprends encore que le gaz ammoniac, tendant à passer de la forme AzH^3 au groupement AzH^3X^2, puisse se combiner à l'acide chlorhydrique, à l'eau, au mercure et à l'hydrogène, etc. ; mais je ne comprends pas pourquoi, après ces changements, les combinaisons ammoniacales sont isomorphes avec les combinaisons du potassium et du sodium ; pourquoi elles s'accompagnent dans tous les cas. L'esprit ne peut être satisfait tant qu'il n'aura pas compris nettement pourquoi le corps composé cyanogène joue le même rôle que le corps simple chlore ; pourquoi le corps composé d'eau et de gaz ammoniac remplace dans les combinaisons, sans en changer la forme, la combinaison du métal potassium avec l'oxygène. Aussi, bien que M. Cahours ait expliqué une des causes des affinités énergiques des radicaux composés, il n'a pas donné la raison des analogies que présentent ces corps composés avec certains corps simples déterminés.

[1] Voir *Annales de chimie et de physique*, tome LVIII, 1860, et *Leçons de chimie* professées devant la Société chimique en 1860.

IV

Rapports qui existent entre les équivalents des corps simples. — Travaux récents de M. Dumas[1].

Les corps simples se combinent les uns avec les autres, suivant des poids parfaitement constants; ces poids portent le nom de *poids atomiques* ou d'*équivalents*. Déterminés d'abord avec beaucoup de soin par Berzélius, ils ont été l'objet dans ces derniers temps d'une révision très-minutieuse opérée par M. J. Dumas.

« Si j'ai cru cette révision nécessaire, dit-il, c'est que les chiffres exacts qui représentent les équivalents des corps simples, ne sont pas seulement utiles au manufacturier qui y trouve la règle et la critique des opérations de sa fabrique, au chimiste qui les emploie pour traduire ses analyses en formules, au physicien qui en fait la véritable unité de poids sous laquelle les propriétés des corps sont devenues comparables; c'est de plus que ces chiffres semblent encore ouvrir à la philosophie naturelle, par les rapports singuliers qui s'y révèlent, de nouveaux et profonds horizons. » Berzélius était resté convaincu qu'il n'y avait entre les équivalents des corps simples que des rapports fortuits, tandis qu'un autre chimiste, anglais, le docteur Prout, avait signalé, il y a déjà quelques années, « une relation singulière qui se manifeste entre ces chiffres si disparates au premier abord, et montrait que, l'équivalent de l'hydrogène étant pris pour unité, ceux des corps simples les plus connus s'expriment généralement par des nombres entiers, et même le plus souvent par des nombres peu élevés..... »

« Ainsi, ajoute M. Dumas, deux opinions sont en présence :

« L'une, qui semble avoir été suivie par Berzélius, conduit à envisager les corps simples de la chimie minérale comme des êtres distincts, indépendants les uns des autres, dont les molécules n'ont rien de commun, sinon leur fixité, leur immutabilité, leur éternité. Il y aurait autant de matières distinctes qu'il y a d'éléments chimiques. L'autre permet de supposer, au contraire,

[1] *Annales de chimie et de physique*, tome LV, 1859, page 129.

que les molécules des divers corps simples actuels pourraient bien être constituées par la condensation d'une matière unique, telle que l'hydrogène, par exemple, en acceptant toutefois bien entendu comme vraie la relation observée par le docteur Prout, et même comme fondé le choix de son unité. »

Soumises à une critique sévère, les idées du docteur Prout ne purent être complétement admises. Les poids atomiques des corps simples ne sont pas tous des multiples exacts de celui de l'hydrogène ; sur 33 corps bien étudiés par M. Dumas, 22 eurent des équivalents multiples exacts de celui de l'hydrogène, 8 des équivalents multiples de la moitié de celui de l'hydrogène, tandis que l'équivalent des 3 autres était multiple seulement du quart de celui de l'hydrogène.

Aussi, présentée sous cette forme générale, la question ne s'éclaire que médiocrement ; mais si on la divise en une série d'études plus restreintes, on rencontre des faits extrêmement curieux.

Et d'abord nous avons trois exemples de substances simples très-analogues qui présentent des équivalents égaux, c'est-à-dire dont la masse chimique, dont l'atome a un poids égal.

Le cobalt et le nickel sont deux métaux très-voisins par l'ensemble de leurs propriétés, bien qu'il soit cependant impossible de les confondre ; leur poids atomique est représenté par 29,5.

Les métaux voisins du platine qui se rencontrent dans les mêmes gisements, qui ont des propriétés chimiques analogues, se divisent en deux classes : l'une comprend le ruthénium, le rhodium et le palladium, qui ont pour équivalent 53, et une densité variant de 11,3 à 12,8, très-voisine par conséquent ; l'autre groupe renferme l'osmium, l'iridium et le platine. Leur équivalent commun est 98,5 et leur densité est presque identique. C'est 21,4 pour l'osmium, 21,15 pour les deux autres [1].

Les métaux compris dans les deux groupes ont des propriétés physiques très-analogues. Ils sont très-difficilement fusibles ; il faut pour les fondre employer ces températures excessives que fournit le chalumeau à gaz oxygène et hydrogène; leurs combinai-

[1] *Annales de chimie et de physique*, tome LVI, 1859, page 438. Mémoire de MM. Deville et Debray sur le platine et les métaux qui l'accompagnent. Voyez sur ces travaux de l'*Annuaire scientifique*, 1re année, page 247, et 2e année, page 309.

sons sont très-voisines. Il semblerait donc que la métamorphose de l'une de ces espèces dans l'autre est aisée. Eh bien ! si proche que paraisse la solution, elle échappe encore, et l'expérience prononce toujours négativement. Quelles que soient les métamorphoses qu'on fasse subir au platine ; quelles que soient les combinaisons dans lesquelles on le fasse pénétrer, il reparaît toujours avec ses qualités premières qui permettent de le distinguer facilement de ses voisins osmium et iridium.

Il ne faudrait pas, au reste, attribuer à cette identité des poids atomiques une valeur exagérée, car des matières présentant des poids atomiques semblables ont souvent des propriétés fort différentes ; nous citerons notamment l'azote et le silicium, représentés l'un et l'autre par 14, et dont les propriétés sont fort différentes, puisque l'un est un gaz, tandis que l'autre est un corps solide extrêmement fixe.

On trouve encore entre les équivalents de substances très-voisines par leurs propriétés, des rapports très-simples ; c'est ainsi que le soufre est représenté par 16, tandis que l'oxygène est représenté par 8. Quand on se rappelle combien d'analogies se révèlent entre les combinaisons formées par le soufre et celles que donne l'oxygène, on ne peut s'empêcher d'être excessivement frappé du rapport si simple qui existe entre les poids de leur masse chimique et de rêver à une condensation de l'oxygène le métamorphosant en soufre. Il faut tout dire cependant ; si nous trouvons entre deux corps voisins des rapprochements numériques très-curieux, nous pourrions rencontrer ces rapprochements entre des corps qui n'ont aucune analogie, notamment le fer et l'azote : l'un représenté par 28, et l'autre par 14.

On voit donc avec quelle prudence il faut tirer des conclusions de ces rapprochements numériques, et combien seraient prématurées les conséquences qu'on en pourrait tirer sur la probabilité des transmutations.

Si toutefois la prudence est absolument nécessaire ; s'il ne faut pas conclure au delà de l'expérience, il faut recueillir avec soin tous les indices que donne celle-ci. Or il existe entre certains corps simples des rapprochements d'autant plus curieux, qu'on en rencontre de fort analogues entre des corps composés pouvant jouer le rôle de corps simples, entre les radicaux dont nous avons déjà parlé plus haut.

Supposons qu'on range sur deux lignes parallèles les corps qui constituent deux familles différentes, et nous pourrons passer de l'une à l'autre en ajoutant un nombre constant.

Ainsi nous aurons :

Azote . . .	14	+ 5	=	19	fluor.
Phosphore. .	31	+ 4,5	=	35,5	chlore.
Arsenic. . .	75	+ 5	=	80	brôme.
Antimoine. .	122	+ 5	=	127	iode.
Oxygène. . .	8	+ 4	=	12	magnésium.
Soufre. . . .	16	+ 4	=	20	calcium.
Sélénium. . .	39,75	+ 4	=	43,75	strontium.
Tellure. . . .	65,5	+ 4	=	69,5	barium.
Osmium [1]. .	99,5	+ 4	=	103,5	plomb.
Méthylium [2].	15	+ 3	=	18	ammonium.
Éthylium. . .	29	+ 3	=	32	méthylammonium.
Propylium. .	43	+ 3	=	46	éthylammonium.
Buthylium. .	57	+ 3	=	60	propylammonium.

Les deux premières séries sont formées de corps simples; la dernière, de corps composés, jouant le rôle de corps simples dans un grand nombre de circonstances, et l'on voit que les radicaux de la chimie minérale, considérés comme simples aujourd'hui, offrent entre eux les mêmes relations que les radicaux de la chimie organique, tout composés qu'ils soient.

[1] On voit qu'on n'est pas encore complétement fixé sur le poids atomique de l'osmium. M. Dumas admet 99,5, MM. Deville et Debray 98,5.

2. Le *méthylium*, ou méthyle, est le radical qu'on suppose exister dans l'esprit de bois, $C^2H^4O^2$, qui peut être considéré, nous l'avons vu plus haut, comme hydrate d'oxyde de méthylium, $C^2H^3O.HO$. On voit alors que le méthylium est C^2H^3 représenté par conséquent par 15, puisque nous avons $C^2 = 2 \times 6 + H^3$, c'est-à-dire 3×1, l'hydrogène étant pris pour unité.

L'éthylium est le radical qui existe dans l'alcool éthylique ou esprit-de-vin, $C^4H^6O^2$ est de l'hydrate d'oxyde d'éthylium $C^4H^5O.HO$. L'éthylium C^4H^5 est donc $24 + 5 = 29$.

Le propylium $C^6H^7 = 36 + 7 = 43$ existe dans l'alcool propylique et le buthylium C^8H^9 $48 + 9 = 57$ dans l'alcool buthylique.

Nous avons vu plus haut que l'ammonium est supposé exister dans les sels ammoniacaux. Le sel ammoniac est considéré comme chlorure d'ammonium AzH^4Cl; l'ammonium est donc $14 + 4 = 18$.

Le méthylammonium est de l'ammonium dans lequel une partie d'hydrogène est remplacée par le méthylium; formulons l'ammonium $Az\left\{\begin{matrix}H\\H\\H\\H\end{matrix}\right.$ et

« Mais[1] peut-on conclure de ces faits que les corps réputés simples soient des corps composés? Peut-on en conclure surtout que leur décomposition soit sur le point de se réaliser? Tout en conservant une réserve motivée en pareille matière, où il n'appartient qu'à l'expérience de prononcer, on peut d'abord avouer sans scrupule n'être pas convaincu que les corps simples des chimistes sont l'expression des dernières limites du pouvoir d'analyse que la science puisse prétendre à connaître jamais. »

Lorsque Lavoisier voulut établir sur des bases certaines la science qui avait fait l'étude de sa vie entière, il fit « des corps qu'il était obligé d'appeler simples, puisque les forces de la chimie étaient impuissantes à les décomposer, cinq catégories, qu'il n'est pas sans intérêt d'envisager à distance à l'époque actuelle.

« La potasse et la soude constituent l'une d'elles, mais leur décomposition est, à son avis, si probable et si prochaine, qu'il n'hésite pas à les exclure du tableau des corps simples.

« La baryte, la chaux, l'alumine, la magnésie, la silice en constituent une autre. Pour lui, ce sont des oxydes, ce que l'expérience a confirmé, et il annonce leur réduction pour une époque plus ou moins éloignée, mais il leur donne place provisoire néanmoins dans son tableau des corps simples.

« Il fait une classe à part des métaux connus alors, classe que beaucoup de métaux, découverts depuis soixante ans, sont venus augmenter de nombreuses espèces.

« Il forme aussi une classe spéciale des corps non métalliques,

nous voyons que si nous remplaçons un des atomes d'hydrogène par le méthylium C^2H^3 nous aurons $Az\left\{\begin{matrix}C^2H^3\\H\\H\\H\end{matrix}\right.$ méthylammonium représenté par $17 + 15 = 32$. L'éthylammonium sera de même $Az\left\{\begin{matrix}H\\H\\H\\C^4H^5\end{matrix}\right.$ c'est-à-dire $17 + 29 = 46$, et enfin le propylammonium $Az\left\{\begin{matrix}H\\H\\H\\C^6H^4\end{matrix}\right.$ c'est-à-dire $17 + 43 = 60$. La production de combinaisons dans lesquelles existent ces radicaux complexes a été réalisée par M. Wurtz en 1850 et complétée ensuite par M. Hoffmann ; c'est une des belles découvertes du siècle.

[1] Dumas, *loc. cit.*

trois exceptés, classe qui s'est enrichie de son côté par la découverte du chlore[1], du brôme, de l'iode et du sélénium.

« Mais si Lavoisier s'est borné jusque-là à représenter fidèlement les résultats de l'expérience, tout en les interprétant avec une liberté que les travaux de ses successeurs ont bien justifiée, il ne renonce pas à établir une distinction qui a disparu de l'enseignement entre les corps indécomposables ou simples de la chimie, tels qu'ils sont donnés par l'expérience et les éléments proprement dits.

« Il est aisé de voir, en effet, que Lavoisier n'accordait pas aux métaux déjà si nombreux de son temps et aux corps non métalliques, indécomposables comme eux, le caractère de substances élémentaires vraies.

« Soit répugnance à considérer les éléments réels des corps comme devant être nombreux, ce qui ne s'accorde guère, en effet, avec l'économie que la nature met d'ordinaire dans l'accomplissement de ses desseins, soit obéissance à des vues cachées dont il ne nous a pas laissé le secret, Lavoisier, tout en établissant l'existence de trente-deux corps indécomposables par les moyens connus de son temps, et les considérant dès lors comme les corps simples relatifs de la chimie, admet aussi l'existence d'une classe de corps plus simples encore.

« Ceux-là, au nombre de cinq, il en fait une classe expresse, et il les désigne sous ce titre : *Substances simples qui appartiennent aux trois règnes qu'on peut regarder comme les éléments des corps*. Ce sont : la umière, le calorique, l'oxygène, l'azote et l'hydrogène.

« Lavoisier avait donc établi de la façon la plus claire qu'il faut mettre de côté toute idée préconçue sur l'essence de la matière ; qu'il faut considérer la chimie comme une science qui apprend à décomposer les corps et à étudier les matériaux de moins en moins composés qu'on en retire ; que, dans la pratique, le titre de corps simple doit être réservé à ceux qu'elle ne parvient pas encore à dissocier, mais qu'il n'y a pas lieu de confondre ces corps

[1] Le chlore a été découvert par Scheele en 1774 ; mais c'est seulement après les travaux de Gay-Lussac et Thénard et de sir H. Davy, publiés au commencement de ce siècle, qu'il fut considéré comme simple. Voir sur ce sujet dans le quatrième volume des *Annales du Conservatoire*. P. P. Dehérain, *la Découverte du chlore*.

simples qui marquent la limite des pouvoirs de l'expérience avec les éléments vrais des corps, éléments dont ils peuvent être séparés encore par des barrières que les forces connues ne parviennent point à briser... »

« Les chimistes, dit plus loin encore M. Dumas, ont poussé en effet l'analyse aussi loin que le permettait la puissance des forces dont ils disposent ou l'énergie des réactions dont les formules leur sont connues.

« Ils ont fait mieux encore, car ils ont ramené par cette analyse tous les corps de la nature à se réduire à certains corps métalliques ou non métalliques, montrant par des caractères communs incontestables et par une affinité mutuelle énergique qu'ils sont tous des radicaux du même ordre.

« Lorsque dans cette situation il apparaît une raison de douter que ces radicaux soient des corps simples et que la chimie ait dit son dernier mot à leur sujet, faut-il recommencer cette suite de démonstrations parfaitement acquises qui prouvent qu'on n'a pas pu jusqu'ici les décomposer? Je ne le pense pas. Les manipulations infinies des laboratoires de la science et de l'industrie depuis un siècle n'ont pu laisser à ce sujet aucun nuage dans les esprits. Il n'est pas question de revenir sur le passé; ce qu'il nous lègue, tout le monde le tient pour vrai et pour suffisamment prouvé. Il est question d'envisager l'avenir et de voir s'il est possible de faire un pas de plus. Mais il s'agit, disons-le bien haut, d'un pas difficile, le plus difficile, à mon avis, que la science humaine ait jamais tenté, et qui exige autre chose dès lors que l'emploi de la chaleur ou l'application des forces électriques ordinaires.

« En effet, si la chimie est une science nouvelle, les phénomènes chimiques sont aussi anciens que le monde, et ces radicaux de la chimie minérale qu'il s'agirait de soumettre à une décomposition ultérieure, ce n'est pas d'hier que les hommes les connaissent. Leur existence se révèle dès les premiers temps historiques, où déjà se révèle aussi en quelque sorte leur immutabilité. Lavoisier ne les a pas découverts, ils existaient; seulement il les a rangés à leur vraie place. Il n'a pas découvert les réactions qui les produisent ou celles qui mettent en évidence leurs affinités naturelles; les arts les connaissaient, les laboratoires savaient en tirer profit, seulement il en a donné l'explication, la théorie.

« Décomposer les radicaux de la chimie minérale serait donc

une œuvre plus difficile que celle que Lavoisier eut le bonheur d'entreprendre et d'accomplir. Car ce serait mettre en évidence non-seulement des êtres nouveaux et inconnus, comme on en découvre de temps en temps, mais des êtres d'une nature nouvelle et inconnue, dont notre esprit ne peut par aucune analogie se représenter les apparences ou les propriétés. Ce serait porter l'analyse de la matière à un point que n'ont jamais atteint, à la connaissance de l'homme, ni les forces naturelles les plus énergiques, ni les combinaisons et les procédés de la science la plus puissante. Ce serait mettre à profit des forces que nous ignorons ou des réactions que nul n'a imaginées.

« Il s'agit donc d'un de ces problèmes que la pensée humaine a besoin de méditer pendant des siècles, où plusieurs générations peuvent user leurs forces, où l'analyse d'un Newton ne devient possible que lorsqu'elle a été préparée par les systèmes de plus d'un Copernic et par l'empirisme de plus d'un Képler. »

Il n'y a rien à ajouter à ces belles paroles du chef actuel de la chimie française. Si grande que soit la puissance humaine, elle a rencontré là une de ces limites contre laquelle elle vient échouer pendant de longues années. Si peu satisfaisante pour l'esprit que soit l'existence de soixante-cinq corps simples, si probable que soit leur réduction à un nombre plus restreint, il nous faut reconnaître notre impuissance actuelle à transformer ces espèces chimiques les unes dans les autres. Si la même espèce de matière peut affecter parfois des formes extérieures, des propriétés chimiques très-différentes ; si des matières différentes présentent des analogies telles qu'on pourrait supposer *à priori* qu'elles possèdent des compositions analogues ; si les rapprochements qu'on peut établir entre les corps composés sont permis également avec les corps simples, rien ne fait prévoir cependant la décomposition prochaine des soixante-cinq corps reconnus comme simples aujourd'hui.

P. P. Dehérain.

PHYSIQUE DU GLOBE

I

LES DERNIERS TREMBLEMENTS DE TERRE

I

Accroissement apparent du nombre des tremblements de terre et des éruptions volcaniques. — Comité des volcans de l'Association britannique. — Travaux de M. Percy et de M. Robert-Mallet. — Possibilité de la création de nouvelles montagnes volcaniques.

Il y a un siècle, on entendait bien parler, comme à présent, de convulsions épouvantables, démontrant trop énergiquement que les forces mystérieuses qui ont produit le relief des terres ne sont point encore éteintes de nos jours et travaillent aujourd'hui même sous nos pieds. De temps en temps des cataclysmes venaient prouver, en engloutissant des cités tout entières, qu'il n'était pas du tout impossible de voir surgir de nouveaux continents. On citait des exemples de montagnes volcaniques prenant brusquement la place occupée jusqu'à ce jour par des plaines inoffensives. Les annales de l'hydrographie parlaient bien d'écueils qui s'étaient gonflés sous l'action d'agents inconnus, et qui avaient fini par se changer en terres assez élevées pour devenir parfaitement habitables. On avait déjà vu, maintes fois, certaines mers se retirer de leurs anciens ports, pendant que d'autres rivages s'abîmaient progressivement sous les flots.

Cependant, tout bien considéré, de pareils événements devaient être considérés comme exceptionnels, tandis que de nos jours ils sont, pour ainsi dire, devenus quotidiens. Jamais un mois ne se

passe sans que les lecteurs des feuilles publiques n'aient devant les yeux le récit de quelque épisode de la lutte éternelle de l'eau et du feu, réaction de l'intérieur incandescent de la planète contre son enveloppe inerte et refroidie. On pourrait, en réalité, croire que nous vivons dans des temps de luttes et d'orages sans précédents. On dirait que Pluton tient à ne pas laisser oublier que c'est lui qui a tiré du fond des eaux toutes les merveilles que nous admirons, qu'il s'efforce de nous faire comprendre que c'est par sa permission que nous jouissons si paisiblement des trésors de la nature. Souvent la terre s'ébranle sans que le moindre signe avant-coureur ait permis aux habitants de fuir; puis tout rentre dans le repos et dans le silence avec une effrayante rapidité. La majeure partie des spectateurs se demandent s'ils ne sont pas la proie d'une hallucination passagère. Ils douteraient encore de la réalité du phénomène, si le feu n'avait laissé des traces matérielles de sa colère; si des débris, ou au moins quelques fissures, ne témoignaient encore d'un désordre passager des éléments.

Tantôt une série de chocs, de direction et d'intensité variables, entretient l'épouvante dans le sein des populations, qui, à défaut d'institutions stables, sont habituées à compter au moins sur la tranquillité du sol de leur patrie. Quelquefois les plaines les plus dociles au règne de l'homme semblent impatientes de supporter le poids des édifices dont elles se débarrassent convulsivement. Ailleurs d'immenses crevasses s'ouvrent sous les pas des fugitifs, les engloutissent et se referment sur leurs cadavres.

Évidemment on pourrait croire que nous marchons vers une catastrophe dans laquelle le monde, réduit en atomes, va bientôt disparaître. La terre n'a plus à parcourir son orbite que pendant un petit nombre de tours. Encore quelques passages au périhélie et un anneau d'astéroïdes éparpillés dans les espaces planétaires remplacera le globe infortuné qui a si longtemps porté la race humaine et sa triste fortune. Le point d'intersection de tous ces orbites entrecroisés indiquera seul aux astronomes des mondes voisins la place où nous étions parvenus lorsque l'explosion qui nous mit en poudre vint épouvanter les habitants du système planétaire.

Cependant on se tromperait grossièrement si l'on ajoutait une foi trop entière aux résultats de la statistique; on épouvanterait inutilement les populations en leur faisant croire à l'imminence

d'une catastrophe qui, quoique logiquement possible, ne doit sans doute pas se produire avant plusieurs milliards d'années.

Autrefois une foule de convulsions très-notables échappaient aux observateurs, les unes parce qu'elles éclataient dans des pays éloignés du centre de la civilisation, les autres parce qu'elles ne laissaient après elles aucun sinistre notable. Avant l'inauguration des nouvelles méthodes d'observation, il n'y avait ni sociétés savantes organisées, ni publicité sérieuse, ni rapports réguliers entre les diverses parties de la terre. Mais, quoique nous soyons encore bien loin d'écouter avec une attention suffisante les craquements de l'écorce solide sur laquelle nous vivons, tout cela a bien changé : nous faisons au moins quelques efforts pour comprendre la marche des grands phénomènes qui se déroulent sous nos pieds.

L'*Association britannique pour le progrès des sciences* a institué un comité des volcans, spécialement chargé de recueillir les renseignements de toute nature que l'abîme laisse échapper sur les révolutions qui l'agitent. Un illustre savant français, M. Perey, a consacré sa vie entière à jouer le rôle de vigie souterraine. Mais que de phénomènes curieux échappent encore à ces laborieux observateurs ! Que d'ébranlements de nature à jeter une vive lumière sur la constitution du sol pourraient être recueillis, si la science des tremblements de terre était appréciée à sa juste valeur, si le public comprenait l'importance théorique et pratique de recherches aussi instructives ; si l'on apportait, il faut bien le dire, un peu plus d'enthousiasme, un peu plus de poésie à l'étude de ces phénomènes grandioses !

Certes, nous n'avons point la prétention de combler les lacunes qui existent nécessairement dans les savantes nomenclatures dont nous avons annoncé la publication. Notre tâche ne sera pas de lutter de précision et de rigueur avec les hommes qui ont consacré leur intelligence à l'étude de ce magnifique problème de philosophie naturelle; mais notre but sera rempli si nous arrivons à faire comprendre que des règles fixes, immuables, déterminent le retour des orages plutoniens; que la science peut sonder utilement les ultimes profondeurs de la terre comme les plages les plus élevées de l'atmosphère, car un aveugle caprice n'a de place nulle part, ni dans les cieux, ni dans les régions infernales.

Puissent ces lignes disposer les profanes et les savants eux-

mêmes à tenir compte des recommandations de M. Robert Mallet sur l'urgence qu'il y aurait à établir des observatoires spéciaux! Puissent-elles appeler notre attention sur la nécessité de mesurer la conductibilité souterraine! Puissent-elles déterminer quelques amis de la nature à envoyer à M. Perey, de Dijon, les renseignements qu'il réclame pour accomplir une œuvre d'intérêt général! Car, s'il est probable que la terre, dans son ensemble, doit rester intacte pendant un temps suffisant pour satisfaire amplement à notre légitime ambition de voir durer les œuvres de notre civilisation, on ne saurait avoir partout la même sécurité, et cesser de redouter un bouleversement immédiat sur un point déterminé de la planète. S'il y a des lieux qui soient moins exposés, il n'y en a pas qui soient au-dessus de ces vicissiudes, et qui aient obtenu de la nature un brevet d'inviolabilité absolue. Qui sait si quelque montagne volcanique ne viendra pas prendre demain la place qu'occupe avec tant de grâce la capitale de l'Empire français? Qui oserait prédire que jamais les couches épaisses qui occupent le fond desséché du grand océan crétacé ne seront pas soulevées, brisées, dispersées, de manière à laisser passer des torrents de trachytes fondues et de laves furieuses.

II

Tremblement de terre de la province de Constantine. — Son effet sur les horloges. — Influence de l'orientation des édifices sur leur stabilité.

La province de Constantine a ressenti au mois de novembre 1862 un tremblement de terre auquel les journaux scientifiques ont à peine daigné accorder quelque attention. Le point où l'intensité de l'ébranlement a été la plus grande est un petit village arabe situé au sud de Setif et bâti à une cinquantaine de kilomètres des côtes. Comme le choc s'est fait sentir jusqu'à la mer, il est probable qu'il ne s'est pas propagé à une moindre distance dans la direction opposée, et que les dimensions de l'aire d'ébranlement ont été, par conséquent, d'environ 100 kilomètres dans le sens des méridiens. La section transversale ne semble pas avoir été de longueur beaucoup moins considérable, car le phénomène a été ressenti depuis le voisinage de Constantine jusqu'à la vieille forteresse turque de Bordj-bou-Arreridj.

On ne se fait pas communément une idée de l'intensité des efforts nécessaires pour qu'une contrée de 10,000 kilomètres carrés de surface soit ébranlée sur sa base et reçoive la plus imperceptible secousse. Si on donne à la masse ébranlée la profondeur de seulement un kilomètre, ce qui représente à peine l'épiderme de la terre, on voit qu'elle pèsera plus de dix milliards de tonnes métriques.

Il faudrait dépenser en un instant inappréciable toute la force accumulée par plusieurs milliers de chevaux-vapeurs travaillant pendant un jour pour la déplacer d'un millimètre.

Cet effort prodigieux suffit à peine pour lui donner un mouvement si imperceptible que les astronomes seraient seuls capables de le constater s'ils mesuraient la hauteur des étoiles au moment où il se manifeste !

D'où provient la force explosive assez considérable pour produire les mêmes effets que plusieurs millions de kilogrammes de poudre enflammés au même moment? Quelques observations bien simples, faites involontairement à Setif, permettront peut-être de pénétrer ce mystère.

Toutes les horloges oscillant dans un plan à peu près parallèle à celui de l'équateur ont été brusquement arrêtées. On eût dit qu'une main mystérieuse était venue imprimer au balancier une torsion suffisante pour l'empêcher de vibrer.

C'est précisément le contraire de ce qui est arrivé à Buenos-Ayres lors de la destruction de la ville de Mendoza. Les ondes d'impulsion venant de la chaîne des Andes, dans la direction ouest-est, avaient augmenté l'amplitude des oscillations des pendules orientées comme celles qui se sont arrêtées à Setif.

Dans ce cas le mouvement de la Terre était venu s'ajouter au mouvement pendulaire, qui marchait dans le même sens. A Alger, au contraire, le balancier avait éprouvé une violente torsion et avait été renversé comme aurait pu l'être un mur ayant la même direction.

Ces deux observations méritent de fixer notre attention. Si les Algériens et si les Argentins veulent construire des édifices qui aient quelque chance de durée, nous les engageons à les placer dans deux directions perpendiculaires, les unes à la chaîne des Andes, et les autres à celle des monts Atlas.

Si la longueur des rares édifices dont nos compatriotes ont décoré

une conquête qui a coûté tant de milliards à la France se trouve par hasard dans la direction nord-sud, la postérité aura quelques chances d'admirer ces chefs-d'œuvres architecturaux. Ils continueront à orner pendant des siècles le sol algérien, à moins que la terre ne fasse réellement explosion sous leurs pieds. C'est sans doute parce que les architectes des anciens avaient méprisé ou méconnu cette précaution que les ruines de tant de villes couvrent le sol des trois provinces.

Il est probable que les infiltrations des eaux des mers dans les fissures situées au-dessous des montagnes produisent presque tous les tremblements de terre de ces régions. Il peut aussi arriver que des masses détachées de dessous les pics produisent des convulsions très-notables en se précipitant dans les cavités qu'elles surmontent. Humboldt attribue, sans doute avec raison, à cette cause bon nombre des tremblements de terre, si fréquents au Pérou. Une étude approfondie des circonstances qui accompagnent ces phénomènes paraît donc complétement indispensable. Malheureusement, on paraît peu disposé à suivre les conseils de M. Robert Mallet et à établir quelques instruments très-simples pour enregistrer les secousses. On ne peut guère espérer que l'administration coloniale se croie assez riche pour déterminer bien nettement le caractère de ces mouvements géologiques.

C'est le hasard seul qui, comme on le voit, s'est chargé de montrer que le foyer des perturbations algériennes ne dépend pas des îles Canaries ou des montagnes tremblantes de la Haute-Abyssinie. Vainement un des tremblements de terre, résultant peut-être de la secousse de novembre, a produit la rupture du câble algérien, l'administration n'a pas encore publié les détails officiels sur un sinistre dont l'étude serait si intéressante.

III

Tremblement de terre de Manille. — Danger de se réfugier dans les églises et dans les édifices voûtés.

Le plus grand tremblement de terre de la période que nous étudions est sans contredit celui qui a renversé Manille le 3 juin, à sept heures vingt-cinq minutes du soir. Malheureusement les

détails scientifiques manquent d'une manière à peu près complète sur cet événement. On ne dirait pas, à voir la pauvreté des renseignements recueillis, que le désastre a éclaté au milieu d'une ville populeuse où flotte le pavillon d'une puissance qui prétend être éclairée. Le *Moniteur universel* de l'Empire français croit avoir tout fait pour la science en donnant quelques détails pittoresques; mais personne n'a attiré l'attention des savants sur un détail de la plus haute importance pour la sécurité publique.

Le chapitre métropolitain de Manille a péri presque tout entier, avec les chantres et les musiciens, pendant qu'il célébrait dans la cathédrale la fête du *Corpus*. Presque aucune église n'a échappé à une catastrophe analogue. M. Robert Mallet a remarqué le même phénomène dans le grand tremblement de terre de Calabre, dont il a visité les ruines. Toutes les coupoles érigées par la piété des fidèles gisaient à terre à côté des plus humbles chaumières.

Quelles leçons pour les populations ignorantes qui courent au-devant d'une mort certaine en se précipitant dans les églises pour fléchir le courroux céleste chaque fois qu'un frissonnement du sol vient rappeler la fragilité des constructions humaines! L'application des mêmes principes conduirait peut-être à interrompre la construction de la majeure partie des édifices algériens, qui, étant presque tous des églises, sont généralement voûtés.

Le tremblement de terre de Manille, en moins d'une demi-minute, a bouleversé les deux tiers d'une ville très-populeuse et très-vaste. Outre les édifices religieux un grand nombre d'établissements publics ont été jetés à terre ou endommagés. On cite comme les plus maltraités, le palais du gouvernement, l'hôtel de ville, la douane, l'hôpital militaire, plusieurs casernes, les fabriques de cigares. On évalue le nombre des victimes à plus de quinze cents. Les pertes matérielles sont en quelque sorte incalculables. Beaucoup d'industriels et de commerçants sont ruinés. Il n'y a guère de familles, même parmi celles dont les maisons n'ont que peu ou point souffert, qui n'aient perdu tout ou partie de leur mobilier.

De tous les édifices appartenant à l'État, il ne reste plus que trois casernes et le parc du génie qui puissent encore être utilisés. Il a été absolument impossible, dans l'état où se trouvent actuellement les finances du gouvernement des Philippines, de se passer d'un emprunt. Les Espagnols ont fait appel à la sympathie

publique, et une grande souscription nationale a été ouverte à Madrid.

Mais, s'il est beau de réparer ces malheurs, il ne serait pas moins glorieux d'en profiter pour combattre des erreurs ou des préjugés enracinés dans l'opinion publique, il serait utile surtout, en modifiant les modèles des constructions, d'éviter la chute de monuments qui ne sont pas élevés à la gloire de Dieu pour amener la mort de centaines de citoyens

IV

Tremblement de terre de Rhodes. — Affaissement progressif de l'île combattu par l'action des feux souterrains. — Apparition de l'île Graham. — Cratère rempli d'eau bouillante. — Régularité des phénomènes plutoniens.

Le tremblement de terre de Rhodes a eu un caractère bien différent de celui de Manille, car, ayant commencé le 17 mars, il n'a fini, à proprement parler, que le 30 juin. Pendant une période de plus de cent jours, des secousses fréquentes sont venues, presque quotidiennement, épouvanter les habitants.

Le paroxysme a eu lieu le 22 avril seulement, c'est-à-dire 36 jours après les premiers ébranlements. Ce jour-là, les secousses n'ont pas duré moins de 30 à 40 secondes.

Les trépidations observées ont été comparées à celles que produit le mouvement de lacet qui fatigue si fort les voyageurs dans les chemins de fer dont les rails sont usés.

Sur certains points, on a observé un mouvement giratoire ou tourbillonnement caractéristique des grandes crises, telle que celle qui a détruit Lisbonne au milieu du siècle dernier.

Le 22 avril, le village de Massari a été, pour ainsi dire, complétement détruit, car il ne reste plus qu'une seule maison debout. Sur 500 êtres humains qui en formaient la population, 200 ont été ensevelis sous les ruines. Si une ville populeuse s'était trouvée en cet endroit, les sinistres du tremblement de terre de Manille auraient été largement dépassés.

Le lendemain a eu lieu une nouvelle convulsion qui ne paraît pas avoir produit de nouveaux désastres à Rhodes, mais qui s'est fait très-vivement sentir sur les côtes d'Anatolie. La science est encore si peu avancée dans ces contrées, quoiqu'elles soient en

communication constante avec l'Europe, que personne ne daigna prendre la peine de raconter les détails de ce nouveau choc.

M. Davaux, gérant du consulat de France, a fait une remarque pleine d'intérêt, car elle montre que le rôle des tremblements de terre ne se borne pas à modifier le relief actuel de la terre. Le niveau des eaux semblait plus élevé que d'ordinaire avant le commencement de la période d'orages souterrains dont nous venons de rendre compte. On eût dit que l'île s'était affaissée sur elle-même. Lorsque le calme fut rétabli, les choses paraissaient revenues à leur état primitif, comme si les explosions intérieures avaient soulevé de nouveau le poids de l'île de Rhodes, pour lui rendre sa hauteur primitive.

Peut-être, sans cette réaction essentiellement conservatrice des formes actuelles, verrait-on le domaine des chevaliers de Saint-Jean de Jérusalem disparaître petit à petit sous les eaux de la Méditerranée ; car on connaît des écueils et même de véritables îles qui surgissent ou sombrent alternativement. L'île de Graham, qui vient de reparaître entre Malte et la Sicile, montre comment les choses ont pu se passer à Rhodes ; car on a vu surgir par deux cents brasses de fond un cône volcanique de près d'un kilomètre de circonférence.

Le cratère, que les eaux de la mer n'ont pas cessé de remplir, offre aujourd'hui encore l'aspect d'une immense chaudière en ébullition. Des torrents de vapeurs et de fumées sulfureuses s'élancent de cette piscine chauffée par un feu bien ardent ; car, mise en communication avec la Méditerranée par quelque lacune invisible, elle fournit encore un violent courant d'eau bouillante et noirâtre qui exhale d'abondantes fumées et trouble la transparence des flots.

Les Anglais se sont hâtés de prendre possession de cette île, peut-être disparue au moment où ces lignes seront sous les yeux de nos lecteurs.

Un autre phénomène très-remarquable dans l'éruption de Rhodes, c'est que l'on peut constater que le centre des explosions intérieures n'est pas toujours resté au même point, et qu'il s'est sensiblement éloigné vers l'est dans l'intervalle du 22 au 23 avril.

Comment se fait-il, nous dira-t-on, que l'on puisse reconnaître comme une espèce de régularité, même dans les désordres où les

lois ordinaires de la nature paraissent suspendues? Certes, il n'y aurait rien de contraire à la logique ni à la raison de reconnaître que des lois susceptibles d'une interprétation mathématique régissent les mouvements des ondes infernales qui viennent battre le rivage sphéroïdal dans le centre duquel elles se trouvent emprisonnées.

En effet, la rotation de la terre, qui paraît déplacer successivement le lit des fleuves coulant à la surface, doit produire des effets analogues sur les Styx et les Phlégétons enfouis au-dessous des continents et des mers. Pourquoi les lames incandescentes qui s'agitent dans les ténèbres, et qui sont projetées périodiquement contre le plancher qui porte l'humanité et sa fortune ne le rongeraient-elles pas d'une manière à peu près régulière? Pourquoi ne retrouverait-on pas dans ces mouvements intestins une image de l'ordre qui préside aux évolutions des sphères dorées gravitant dans les cieux?

V

Tremblements de terre dirigés dans le sens de la grande fissure volcanique qui relie l'Etna à l'Hécla. — Détails sur le tremblement de terre d'Angleterre.

Comme nous l'avons dit, c'est vers le 30 juin que l'île de Rhodes cessa de ressentir des secousses. Cette dernière commotion fut assez violente pour s'étendre jusqu'à l'île de Cos, qui est dans la direction de la Sicile.

S'est elle arrêtée à cette ville, ou le contre-coup de ces agitations a-t-il suivi une des grandes fissures de l'écorce terrestre? Il est assez difficile de répondre d'une manière bien précise à cette question intéressante. Cependant, neuf jours après l'explosion de Rhodes et de Cos, les habitants de Catane voyaient une nouvelle bouche s'ouvrir dans le mont Etna, qui a si souvent menacé l'existence de la ville.

L'ouverture a été pratiquée au-dessous du sommet, du côté nord, dans un endroit où la pente de la montagne n'offre que peu d'obstacles à la marche des matières incandescentes. En même temps s'élevait un tourbillon de sables provenant du fond du grand cratère, de sorte que l'éruption volcanique était des mieux caractérisées.

On sait que l'Etna se trouve placé sur une grande fissure volcanique qui parvient jusqu'au mont Hécla, en traversant la Méditerranée, l'Auvergne, l'Angleterre et l'Océan septentrional.

Supposons que cette cicatrice se rouvre en un point, par suite d'un accident souterrain quelconque ; l'ébranlement se communiquera de proche en proche, en suivant le sillon tracé par les éruptions précédentes; les infiltrations y deviendront plus abondantes. Tout le long de l'ancienne fissure, on entendra des craquements, des détonations ; il se produira des chocs, des secousses ou des éruptions.

C'est ce qui a eu lieu dans le cours de l'été dernier : à peu près un mois après le tremblement de terre de Catane, on a ressenti à Tunis une violente secousse provenant du large et ébranlant assez fortement les murailles de certains édifices.

Des chocs moins intenses paraissent avoir été ressentis à la hauteur des côtes algériennes, un peu après l'explosion de Tunis. Puis, le 18 septembre, les montagnes volcaniques de l'Auvergne. ont semblé au moment de se réveiller. Pendant deux jours les habitants du mont Dore ont ressenti des secousses qui, quoique n'étant pas assez énergiques pour compromettre la solidité des édifices,ont été assez violentes pour faire abandonner les maisons. Une partie de la population a passé la nuit dans des baraques, ce qui est bien plus logique que de courir s'enfermer dans les églises voûtées, comme l'ont fait trop souvent des fugitifs plus chrétiens qu'intelligents.

Dix-huit jours plus tard, c'était le tour de l'Angleterre, réveillée en sursaut dans la nuit du 5 au 6 octobre, vers deux ou trois heures du matin.

C'est la première fois depuis l'avénement de la reine Victoria que nos voisins se sentent réveiller d'une manière aussi brusque et aussi désagréable. Cependant la vieille Angleterre n'a pas été plus favorisée que la Gaule dans les temps anciens, et même depuis l'apparition de l'homme historique sur la terre. En effet, les annales de nos voisins constatent 255 tremblements de terre authentiques. Plus de la moitié, 157, ont éclaté dans la seule Écosse, région dont la superficie est un peu moins du quart de l'archipel britannique. Mais c'est dans ce pays que les golfes sont le plus profondément découpés, que les côtes offrent d'innombrables dentelures, et par conséquent que les terres et les eaux se trouvent

le plus intimement mélangées. Il est donc naturel que des infiltrations s'y soient produites plus fréquemment qu'ailleurs.

VI

Les tremblements de terre et le puritanisme. — Un soldat prophète. — Observations des tremblements de terre dans le ciel. — Pendule de M. Lowe. — Application du forage des puits artésiens à l'étude des secousses. — Vingt-trois trépidations en Espagne dans le cours d'une seule année.

En 1586, les habitants du pays de Kent, réveillés en sursaut, ne trouvèrent rien de mieux que de courir se réfugier dans les églises, dévotion dont nous avons plus haut apprécié tout le danger. Sept ans après, l'Écosse ayant éprouvé un violent tremblement de terre, le gouvernement royal faillit en recevoir le contrecoup, car une révolte générale fut sur le point d'éclater. De fanatiques puritains, exaltés par cette circonstance, prédirent partout que Dieu donnait des signes manifestes de sa colère, que l'Éternel lançait ses tonnerres souterrains contre le roi, coupable d'obéir à un ministre infâme, et de prêter l'oreille aux séductions des Philistins. Onze ans plus tard, le même peuple, épouvanté une seconde fois par de nouveaux ébranlements, s'en prit à sa propre impiété. Si la terre tremblait, ce n'était que pour punir les Écossais de violer la sainteté du dimanche en rompant le jeûne dominical et en pêchant des saumons dans la Dee.

L'année la plus célèbre dans les annales des folies occasionnées par les tremblements de terre appartient au siècle de Voltaire et de Diderot. Un troupier du régiment de Delaware s'étant avisé de prédire une catastrophe, tout le monde ajouta foi aux déclamations de ce soudard. La mode exploitant tout, même la peur, les dames se taillèrent des capuchons dits *Tremblement de terre*, lesquels leur servirent à s'envelopper la tête, pendant que des familles entières, chassées par la superstition, campaient hors de leur demeure. Toutes les chaires retentirent de sermons furieux contre l'idolâtrie, et le jour fatidique, le 2 avril, se passa aussi tranquillement qu'un jour ordinaire.

C'est également une triste tâche que d'avoir à lire les récits incohérents publiés par les feuilles anglaises de 1863, où chacun vient à son tour photographier ses impressions spontanées sans que la science se soit donné la peine de les contrôler.

Dans tout ce déluge de communications, deux seulement ont un véritable caractère sérieux Un astronome de l'Observatoire de Greenwich, qui veillait pendant la nuit du phénomène, remarqua un mouvement inexplicable dans une étoile dont il suivait les évolutions avec une lunette astronomique. Rien pourtant n'avait été changé aux lois du ciel, mais son instrument avait été déplacé, quoique la secousse fût assez faible pour qu'il fût impossible d'en avoir la moindre perception directe, et les mouvements apparents d'une étoile située à des milliards de lieues témoignèrent seuls des trépidations qui agitaient le sol de la ville de Londres [1]. C'est sans doute la première fois que l'observation des espaces planétaire aura servi à constater les mouvements de la croûte terrestre.

De son côté, M. Lowe possède dans son observatoire de Beeston une tige de dix mètres de longueur suspendue au sommet d'une tour, et à peu près disposée comme le serait un immense pendule en repos. L'extrémité libre de cette grande barre rigide est terminée par un style, lequel affleure une masse de craie préalablement réduite en poussière impalpable, et qui conserve la trace de toutes les excursions de la tige chaque fois qu'un mouvement de la tour vient à se produire. Cet appareil s'est déplacé d'une manière très-notable, et l'on a pu constater à la fois l'amplitude de ses oscillations et leur place réelle.

Comme on le voit facilement par ce qui précède, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des instruments dispendieux comme ceux dont nous avons donné la description. Souvent même l'observation du débit des eaux des sources naturelles ou des puits artésiens peut être mise à contribution. M. Hervé Mangon a cru remarquer que la quantité de matières terreuses tenues en suspension dans l'eau du puits artésien de Passy varie suivant les époques de l'année. Il suppose qu'elle augmente d'une manière sensible aux instants où les relevés de M. Percy indiquent que des trépidations du sol ont dû se produire.

M. Jus, qui pratiquait deux forages pour le compte de la maison Degousée dans le royaume de Naples pendant la dernière éruption du Vésuve, a remarqué qu'une sonde s'est trouvée engagée au même instant dans chacun de ces deux puits, lesquels

[1] Voir l'*Annuaire* de l'année 1865.

étaient à une assez grande distance l'un de l'autre. Ce qu'il y a de remarquable dans cette circonstance, c'est que la commotion qui a produit ces deux accidents n'a pas été assez forte pour être sensible à la surface de la terre, quoiqu'elle eût déplacé les couches à la profondeur où étaient parvenus les sondages.

Le nombre des secousses que l'on pourrait constater s'il était possible de pénétrer jusque dans les couches profondes paraît devoir être très-considérable, car le même observateur prétend en avoir compté vingt-trois en une seule année dans des puits artésiens d'Espagne, où il avait établi un système d'observations régulières.

VII

Prédiction de M. Alix. — Théorie de la probabilité de la succession des secousses le long des cicatrices laissées par les éruptions antérieures. — Théorie du réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont. — Ses rapports avec la théorie des filons. — Remarques de M. de Chancourtois sur la position des gisements de naphte et de pétrole. — Importance de la météorologie souterraine.

Une communication faite à l'Institut par M. Alix, qui annonçait une violente éruption volcanique, a excité une hilarité générale. Loin de nous de soutenir qu'il soit logique et rationnel d'appliquer aux phénomènes ignés les méthodes des empiriques *qui prétendent calculer avec une précision tout astronomique la marche des phénomènes aqueux*.

Cependant il ne serait pas impossible que d'ici à quelques semaines le mont Hécla ne vomit ses laves sur les plaines de glace au milieu desquelles il trône. Peut-être la direction connue des grandes fissures que les convulsions précédentes ont laissées à la surface de la sphère terrestre permet-elle de déterminer la marche progressive que suivent les explosions. En effet, chaque ébranlement diminuant la cohésion d'un segment plus ou moins considérable de la cicatrice, facilite les infiltrations des eaux au delà du centre d'explosion et prépare, en général, une commotion nouvelle.

Les grandes fissures qui se sont produites dans tant de sens différents n'ont pas eu lieu d'une manière arbitraire et désordonnée, comme on l'a cru pendant longtemps. M. Élie de Beaumont a employé beaucoup de science à faire comprendre qu'elles ont lieu

suivant certains arcs de grand cercle susceptibles d'être rigoureusement déterminés par des coordonnées[1] géométriques. Peut-être la corrélation des secousses plutoniennes fournirait-elle un moyen de vérifier si les valeurs numériques désignées par le savant secrétaire de l'Académie des sciences, pour 61 grands cercles principaux du réseau pentagonal et 98 cercles auxiliaires, ont une exactitude suffisante.

De plus, il ne faut pas croire que les résultats de l'étude des tremblements de terre et des fissures du globe n'offre qu'un intérêt de simple curiosité. En effet, la position des filons métallifères possède nécessairement les liens les plus intimes avec la distribution géographique de l'écorce terrestre, c'est-à-dire des grands sillons pratiqués par l'action ignée. Que les eaux aient amené les sels métalliques, ou que les métaux aient été poussés à l'état de matière fondue, peu nous importe, car, dans ces deux cas, la pénétration a dû avoir lieu par ces interstices ; et, par conséquent, la répartition de ces matières précieuses dépend de la situation de ces profondes et intimes solutions de continuité.

Quelques observations de M. de Chancourtois semblent venir à l'appui des considérations précédentes. En terminant un travail sur les gîtes de bitume de Seyssel et des environs de Clermont, ce géologue a été surpris de voir qu'ils avaient un alignement rigoureusement parallèle à la direction du système de soulèvement des Pays-Bas. M. Gauldrée-Boileau, dans son rapport, inséré dans les *Annales des mines*, sur l'exploitation des huiles minérales de l'Amérique du Nord, a constaté que les principaux gîtes des États-Unis sont situés sur le prolongement du faisceau de fractures qui ont donné passage au Saint-Laurent. Ce faisceau prolongé va aboutir, suivant M. de Chancourtois, à la presqu'île d'Apchéron.

Nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire, pour expliquer ces faits, de soutenir, comme M. de Chancourtois, que les produits hydrocarburés qui sont logés dans certaines de ces fissures sont le produit de phénomènes éruptifs ; car il est certain que les phénomènes de la vie végétale et animale ont joué un rôle très-important dans leur fixation et leur accumulation. Le feu central n'a pu les produire par voie d'émanation directe, et s'ils sont de formation pyrogénée, ils ont dû prendre naissance par la distillation de sub-

[1] Voir, deuxième année de l'*Annuaire*, l'article *Éruption du Vésuve*.

stances animales ou végétales accumulées dans des dépôts exposés à l'action de la chaleur centrale par une catastrophe quelconque.

Mais tout le monde verra dans ces recherches une preuve de l'immense intérêt pratique qui s'attache à l'étude de la manière dont l'enveloppe solide a été couturée par la succession des convulsions volcaniques que la Terre a éprouvées.

Nul procédé plus efficace de suivre ces mystérieuses cicatrices, plongeant quelquefois à des profondeurs inaccessibles, que d'écouter les divers craquements de l'enveloppe qui nous sépare de la fournaise. Nous laisserions volontairement de côté une des branches les plus fécondes de notre science, si nous négligions d'interroger les mouvements de l'abîme. Il y a, pour ainsi dire, une *météorologie souterraine* dont nous ne pouvons nous dispenser de nous préoccuper, si nous ne voulons rester en arrière des peuples de l'extrême Orient. Les Japonais, que nous appelons si légèrement barbares, ont compris l'intime connexion des phénomènes de l'air et de ceux du feu, en inscrivant depuis des siècles, sur les mêmes registres, les ouragans et les tremblements de terre.

W. DE FONVIELLE.

II

LES COURANTS DE LA MER

Les navigateurs ont un grand intérêt à connaître les mouvements de la vaste surface liquide qu'ils parcourent. Les routes, que les observations astronomiques et les chronomètres permettent de tracer avec tant de précision, subissent leur influence. Les fleuves de l'Océan sont aussi « des chemins qui marchent » et qui peuvent abréger ou retarder les traversées.

Les conditions météorologiques du globe varient d'après les courants, qui portent tantôt vers les pôles les eaux chaudes de la zone torride, et tantôt rafraîchissent celle-ci en y amenant les eaux de la zone glaciale. Leur étude a jeté un grand jour sur la climatologie. Elle est utile d'un autre côté pour déterminer les

régions les plus favorables à la pêche maritime, dans laquelle la température des eaux joue un rôle très-remarquable.

Nous nous proposons de décrire les principaux courants reconnus jusqu'à présent, de montrer leurs influences réciproques et les premiers linéaments d'une circulation générale, enfin de rechercher les causes auxquelles on doit les rapporter.

La géographie physique de l'Océan est une science encore nouvelle ; mais elle fait d'incessants progrès depuis quelques années, grâce aux investigations d'un grand nombre d'observateurs appartenant à toutes les marines des peuples civilisés, et formant une association puissante dont nous aurons souvent à citer les importants travaux. C'est à l'initiative d'un savant officier de la marine américaine, le commandant Maury, qu'est dû ce grand mouvement scientifique, auquel nous devons déjà tant de brillantes découvertes et d'ingénieuses théories.

I

Le Gulfstream. — Sa direction, sa vitesse et sa température. — Influence qu'il exerce sur la température de l'Europe occidentale. — Le fleuve noir du Pacifique. — Courants sous-marins.

Entre les tropiques se trouve dans toutes les mers un courant qu'on nomme *équatorial* et qui se meut de l'est à l'ouest. Colomb reconnut dès son second voyage que les eaux de l'Atlantique suivent dans cette région la direction du mouvement apparent des étoiles. « *Las aguas van con los cielos,* » dit sa relation. La largeur du courant est de 160 milles près des côtes d'Afrique, et elle augmente progressivement jusqu'à 600 milles. Mais, à ce point, une branche se dirige vers le nord-ouest, et il arrive, réduit à 200 milles, sur les côtes du Brésil, le long desquelles il descend vers le sud. On peut reconnaître également dans les autres mers cette bifurcation à l'approche des continents situés à l'occident. Dans l'océan Pacifique, entre les parallèles de 26° sud et de 24° nord, le courant est large d'environ 3,500 milles, le tiers de la distance d'un pôle à l'autre. Il se rétrécit beaucoup à son entrée dans l'océan Indien, où il est compris entre les parallèles de 10° et 20° de latitude sud.

Le courant équatorial n'est pas rapide. Au moyen de bouteilles cachetées, renfermant l'indication du lieu et de la date de l'immersion, on a reconnu qu'il lui faut à peu près un an pour aller d'une rive à l'autre de l'Atlantique. Le point de partage des eaux entre les deux branches se trouve au cap San-Roque. Celle qui continue à marcher vers l'ouest augmente un peu de vitesse ; elle était signalée aux navigateurs comme un danger, mais on doit à Maury d'avoir dissipé cette erreur. Les observations recueillies par ses coopérateurs ont permis de tracer une route qui coupe la ligne plus à l'ouest, et d'abréger ainsi les traversées dans ces parages.

Dans la mer des Antilles, la marche du courant s'accélère ; il contourne le golfe du Mexique, d'où il sort avec des forces nouvelles pour traverser l'Atlantique et se perdre au nord de l'Europe dans les régions inexplorées de l'océan Polaire. Le nom qu'il porte en Amérique, « courant du golfe, *Gulfstream*, » indique son origine. Maury en trace un tableau animé.

« Il est, dit-il, un fleuve dans l'Océan. Dans les plus grandes sécheresses, jamais il ne tarit ; dans les plus grandes crues, jamais il ne déborde. Ses rives et son lit sont des couches d'eaux froides entre lesquelles s'écoulent des eaux chaudes. Ce puissant fleuve, c'est le Gulfstream. Nulle part dans le monde il n'existe un courant aussi majestueux. Il est plus rapide que le Mississipi ou l'Amazone ; son volume équivaut à plus de mille fois celui de ces deux fleuves réunis. »

Jusqu'aux côtes de la Caroline, sa couleur est d'un bleu indigo, et on peut suivre de l'œil la ligne de démarcation très-nette qui le sépare des eaux environnantes. Souvent on voit la moitié d'un navire dans le courant et l'autre dehors. Cette couleur est due, dit-on, à la grande quantité de sel que ses eaux renferment. Des observations faites dans les bassins d'évaporation des salines de la Méditerranée ont montré, en effet, que la teinte bleue est d'autant plus foncée que le degré de salure est plus élevé.

Après avoir traversé le canal de Bahama, le Gulfstream suit la côte d'Amérique jusqu'à la hauteur du banc de Terre-Neuve. Il le touche seulement et se dirige ensuite à l'est, vers les côtes d'Europe. A la hauteur des Açores, il se bifurque : l'une des branches se tourne vers le sud, et, après avoir côtoyé l'Afrique, elle rejoint le grand courant équatorial ; l'autre branche baigne l'Europe occidentale et monte au nord-est jusqu'aux régions polaires.

Dans ce trajet, sa température diminue lentement, d'un demi-degré par cent lieues, attendu que l'eau a une très-grande capacité calorifique. Le thermomètre, plongé alternativement dans le courant et dans l'air ambiant, accuse souvent des différences de 15° et davantage. Nous signalerons les effets produits dans les hautes latitudes par ces réserves de chaleur absorbées dans la zone tropicale.

Entre les bancs de Bahama et la Floride, la largeur de Gulf-stream n'est que de 7 milles; elle est de 10 milles à l'ouest du cap Hatteras et augmente ensuite rapidement jusqu'à 150 milles. Sa vitesse, d'un mille à l'heure, dans le détroit de Bemini, est de trois quarts de mille au cap Hatteras, et diminue ensuite à mesure que le lit s'élargit.

Un grand espace situé dans le triangle formé par les Açores, les Canaries et les îles du cap Vert, est connu sous le nom de *mer des Sargasses*. On y trouve une telle quantité d'herbes marines (*Fucus* ou *Sargassum natans*, raisins du tropique, qui paraissent originaires des bancs de Bahama), que la marche des navires en est souvent retardée. Les compagnons de Colomb, effrayés de cet obstacle, avaient cru être arrivés aux limites du monde navigable. On observe toujours ce phénomène au même point, et une expérience connue de tout le monde en donne l'explication. Placez des corps légers sur l'eau contenue dans un bassin et animée d'un mouvement circulaire, ils tendront toujours à se rassembler au centre. L'océan Atlantique peut être considéré comme un immense bassin au milieu duquel les herbes arrachées sur les bords forment la mer des Sargasses.

Les courants constituent un vaste circuit indiqué par les bouteilles jetées à la mer. Plusieurs d'entre elles, abandonnées sur la côte d'Afrique, ont été recueillies après plusieurs années dans la Manche et sur la côte d'Irlande, après avoir fait, selon toute apparence, le tour du golfe du Mexique, les courants directs entre ces points extrêmes, étant dirigés du nord au sud.

On peut assimiler la ligne que suit le Gulfstream jusqu'aux régions polaires à un arc de grand cercle, le plus court chemin, comme on sait, sur la surface de la sphère. La position de cette ligne change pendant l'année, en oscillant entre les parallèles de 40° et de 46°, limites qui correspondent aux mois de mars et de septembre. Cette variation est due à la contraction

et à la dilatation des eaux situées au nord et au sud de Gulf-stream.

Maury compare encore ce grand courant à un immense calorifère qui aurait son foyer dans la zone torride. En arrivant vers la côte d'Europe, ses eaux s'étendent sur plusieurs milliers de lieues carrées, et leur chaleur se communique à l'atmosphère. Les vents d'ouest la transportent sur le continent et les îles, qui lui doivent la remarquable douceur de leur climat. On voit sur les cartes les lignes isothermes de 15° et de 10° partir du voisinage du parallèle de 10° de latitude, et se diriger à peu près au nord-est en approchant des rivages d'Europe. Les ports du Labrador et de Terre-Neuve sont quelquefois fermés par les glaces dans le mois de juin, tandis qu'au plus fort de l'hiver, ceux de l'Angleterre, situés à la même hauteur, restent ouverts. En Irlande, le myrte croît en pleine terre comme au Portugal. Sur les côtes du Devonshire, l'*agave mexicana* a fleuri, et les orangers en espalier, à peine abrités par quelques nattes, ont porté des fruits. Les étangs ne gèlent jamais dans l'intérieur des îles Feroë.

L'influence du Gulfstream s'étend jusqu'à la partie nord de l'île du Spitzberg, où la limite des neiges éternelles, au lieu de s'abaisser à la surface de la mer, se maintient à près de 200 mètres au-dessus de ce niveau. C'est aussi à cette influence qu'il faut attribuer le contraste qu'on observe entre les fiords verdoyants du Finmark suédois et les ports arides, situés à l'est, hors de la direction du courant, qui appartiennent aux Russes. Les premiers ont des hivers comparables à ceux de l'Europe centrale, tandis que dans les seconds on voit souvent geler le mercure.

Le Gulfstream fut découvert en 1519 par Alaminos, lorsqu'il revint du Mexique par le détroit de Bemini ; mais ce n'est qu'à la fin du dernier siècle que son trajet a été assez exactement connu pour pouvoir servir à la rectification de la position des navires et à l'abréviation des traversées. L'initiative vint de Franklin. Pendant son séjour à Londres, en 1770, les négociants de Providence (*Rhode-Island*) demandèrent dans une pétition que les paquebots de Falmouth fussent dirigés vers leur port, au lieu d'aller à Boston. Ils se basaient sur ce que ces paquebots avaient, en général, des traversées plus longues de quinze jours que les navires se rendant de Londres à Providence, quoique la distance à parcourir fût plus courte. Franklin, consulté à ce sujet, interrogea à son

tour un baleinier de Nantucket, qui lui expliqua cette anomalie par la connaissance qu'avaient les capitaines de Rhode-Island de l'existence du Gulfstream, tandis que les capitaines anglais l'ignoraient complétement. Les premiers s'écartaient du courant, tandis que les seconds, y donnant en plein, se trouvaient retardés d'environ 70 milles par jour.

L'atterrage, pendant l'hiver, de la côte des États-Unis, est extrêmement pénible et dangereux ; mais le Gulfstream et ses eaux chaudes sont un précieux secours dans cette circonstance. « Le marin, dit Maury[1], est exposé à recevoir sur cette côte des tempêtes de neige et des coups de vent qui défient toute son expérience et toute son habilité ; en quelques instants il voit son navire pour ainsi dire transformé en une masse de glace, son équipage engourdi et hors d'état de manœuvrer, et le gouvernail reste son unique ressource ; c'est alors qu'il va chercher le Gulfstream, et que la scène, en quelques heures, change comme par enchantement : il semble que l'on ait passé de l'hiver à l'été ; la glace fondue se détache du gréement, une chaleur bienfaisante rend aux matelots l'ardeur et la force qui les avaient abandonnés, et notre marin peut de nouveau essayer d'atteindre le port ; peut-être échouera-t-il encore cette fois, mais, à chaque tentative infructueuse pour gagner dans le nord-ouest, toujours le Gulfstream sera là et lui permettra, comme à un autre Antée, de reprendre de nouvelles forces, jusqu'à ce qu'enfin, triomphant des éléments, il gagne le port tant désiré. »

Ainsi la découverte de Franklin eut un double avantage et elle influa non-seulement sur la navigation entre l'Europe et l'Amérique, mais encore sur la prospérité des ports du Nord, en facilitant leur accès. La décadence de Charleston, jadis le grand centre commercial du Sud, date de cette époque.

Dans l'Atlantique septentrional un courant polaire porte les eaux froides des régions glaciales vers le Sud, en débouchant par le détroit de Davis. Il est rejoint à sa sortie par le courant qui a suivi les côtes du Groënland. Près de Terre-Neuve, il rencontre presque perpendiculairement le Gulfstream et tourne ensuite au sud-ouest le long des côtes des États-Unis. Un autre courant po-

[1] *Instructions nautiques*, traduction de M. E. Vaneechout, lieutenant de vaisseau.

laire descend le long des côtes occidentales d'Europe depuis les côtes de la Norvége jusqu'à celles du Portugal. Nous venons de voir que son influence sur l'atmosphère est puissamment combattue par celle du Gulfstream.

Reprenons maintenant, dans l'Atlantique du Sud, la branche méridionale du courant équatorial. Elle se dirige le long de la côte de l'Amérique jusqu'au voisinage du cap Horn. D'après l'amiral Fitz Roy, aux îles Falkland l'eau est toujours, grâce à ce courant, comparativement chaude (de 7° à 10°). On n'y voit guère d'autre glace que les montagnes flottantes (*ice-bergs*) détachées de la grande banquise australe. Dans quelques pâturages, les troupeaux de bestiaux passent l'hiver en plein air.

Il faut descendre davantage vers le Sud pour trouver les eaux froides. Elles forment un grand courant qui se divise en deux branches, dont l'une pénètre dans l'océan Atlantique, et l'autre dans l'océan Pacifique. Cette dernière a été décrite pour la première fois par Humboldt et porte son nom. Elle se dirige vers les côtes du Chili, longe l'Amérique du Sud au nord, et, après avoir tourné à l'ouest, va se perdre dans le courant équatorial. Entre les tropiques, sa température n'est souvent que de 15° pendant que celle des eaux voisines monte à 28°.

A mi-distance de l'Amérique et de l'Australie, Maury signale un courant chaud qui conduit l'eau des régions intertropicales vers les hautes latitudes, mais ses limites sont encore bien vaguement déterminées. C'est grâce au golfe profond qu'il creuse dans la grande glacière australe, que James Ross a pu pénétrer jusqu'aux terres où s'élèvent les volcans Érèbe et Terror. D'autre part, un courant froid qui vient des pôles, baigne les côtes de la Nouvelle-Zélande, de Van-Diémen et de l'Australie.

Nous trouvons au nord du Pacifique un système de courants qui présente une analogie remarquable avec celui de l'Atlantique septentrional. Le Gulfstream se reproduit dans le *fleuve Noir*, le *Kuro-Sivo* des Japonais, qui porte, aussi suivant un arc de grand cercle, les eaux chaudes de la mer de Java jusqu'au voisinage du détroit de Behring. De même qu'on trouve des graines tropicales, des troncs de palmiers d'Amérique sur le rivage de la Norvége et en Islande, on rencontre des débris des végétaux de la Chine méridionale, tels que le camphrier, sur les bords du Pacifique nord. Aux îles Aleutiennes, qui ne donnent naissance à aucune

espèce d'arbres, les habitants n'ont pour construire leurs canots et pour leurs usages domestiques d'autre bois que celui que le courant jette sur leurs plages. On y a recueilli des épaves provenant de navires naufragés sur la côte du Japon. Le nom du courant indique la couleur foncée de ses eaux, qui se séparent nettement des eaux plus froides et de moindre salure qu'elles traversent. Dans une région centrale immobile se forme une mer des Sargasses très-étendue. Le long des côtes orientales d'Asie existe un courant froid, comme le long des côtes des États-Unis, mais la similitude n'est pas complète dans les hautes latitudes, où le détroit de Behring, à l'inverse du détroit de Davis, est traversé par un courant de surface venant du Sud. Celui-ci peut être considéré comme une branche du fleuve Noir, et va réchauffer la mer Polaire. Une autre branche, après avoir enveloppé les îles Aleutiennes d'une atmosphère brumeuse analogue à celle de Terre-Neuve, suit la côte d'Amérique et rejoint le courant équatorial par lequel le circuit se complète. L'influence météorologique exercée sur l'Amérique occidentale est telle, selon Maury, que les climats de la Colombie, de Washington et de Vancouver correspondent exactement à celui de l'Europe et des Iles-Britanniques.

Le courant équatorial de l'océan Indien, en se dirigeant du sud de Java au nord de Madagascar, envoie des branches latérales, à droite, vers les golfes d'Arabie et du Bengale; à gauche, vers les régions extra-tropicales du Sud. Il doit se former dans celles-ci un vaste tourbillon, car l'espace compris entre les parallèles de 40° et 50° de latitude sud et les méridiens de 60° et de 80° est encore une véritable mer des Sargasses.

La branche qui descend par le canal de Mozambique est nommée *courant de Lagullas* à partir du cap de ce nom. Sa vitesse, variable selon les saisons, atteint souvent 80 milles par jour et le rend sous ce rapport comparable au Gulfstream. Sa température est supérieure de 15° à celle de l'eau qui forme ses rives, et il porte ainsi dans les régions glacées du Sud une immense quantité de chaleur enlevée à la zone torride.

Les cartes thermales océaniques construites sous la direction de Maury permettent de suivre non-seulement la marche de tous les courants dont nous venons de tracer une esquisse, mais encore l'ensemble de la circulation établie à la surface de l'Océan entre les régions équatoriales et les régions polaires, qui s'opère

par des mouvements partiels beaucoup moins rapides que ces courants. Ce vaste échange, dû à la contraction et à la dilatation périodique de l'eau de ces régions, est désigné sous le nom de *dérive de la mer* (*drift of the sea*) ; il comprend tous les mouvements généraux que le thermomètre peut indiquer.

L'examen de ces cartes permet de voir au premier coup d'œil les parages les plus favorables à la pêche. Les deux côtes de l'Amérique septentrionale, la côte orientale de la Chine, certaines parties des côtes occidentales d'Europe et de l'Amérique du Sud sont toutes baignées d'eau froide, et c'est là que se trouvent les célèbres pêcheries de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Angleterre, du Japon et de la Chine. Les mers de l'Inde, les côtes orientales de l'Afrique et de l'Amérique du Sud doivent au contraire à la présence des eaux chaudes un poisson moins abondant et de qualité inférieure.

Maury donne à ce sujet les renseignements suivants : « Trois mille navires américains sont employés à la pêche ; en y ajoutant le contingent des marines hollandaise, française et anglaise, nous aurons un total de six à huit mille navires ainsi occupés, et comme dans cette industrie la pêche de la baleine tient de beaucoup le premier rang, chacun concevra l'importance d'une carte de l'Océan indiquant les divers parages fréquentés par ces cétacés. C'est dans cet esprit qu'a été compulsée à l'Observatoire de Washington une immense quantité de journaux de navires baleiniers, travail duquel est résulté une série spéciale des cartes de notre atlas. Ces recherches ont établi entre les deux principales espèces de baleines cette distinction curieuse, que la baleine franche recherche l'eau froide et le cachalot l'eau chaude. Ainsi, pour la baleine franche, la zone torride est aussi infranchissable qu'un mur de flammes, ce qui semble indiquer une différence dans l'espèce de ces animaux d'un hémisphère à l'autre. Quant au cachalot, on a reconnu que, s'il doublait le cap Horn, il ne doublait jamais le cap de Bonne-Espérance. »

Des lois météorologiques importantes ressortent de la comparaison des cartes thermales avec les cartes des tempêtes et des orages qui ont été construites pour toutes les mers du globe, et parmi lesquelles nous devons signaler les plus récentes, dues à l'institut météorologique d'Utrecht. Les perturbations sont surtout fréquentes sur le parcours des courants chauds, et on conçoit qu'il doit en être ainsi par suite de la différence de la température des

couches d'air superposées aux courants avec la température des couches voisines. Dans l'Atlantique septentrional, les *cyclones*, ou tempêtes tournantes, se rencontrent principalement dans les parages traversés par le Gulfstream.

Les grands sondages qu'on a faits depuis quelque temps dans l'Océan ont contribué à jeter du jour sur les courants sous-marins. Il paraît en exister presque partout, car dans ces opérations la ligne de sonde ne cessait pas de filer après que le plomb était parvenu au fond, cassant dès qu'on voulait l'arrêter. Elle était évidemment entraînée par les courants profonds dans une direction inconnue.

D'autres observations constatent à la fois l'existence et la direction de ces courants. Les lieutenants Walsh et Lee, de la marine américaine, chargèrent un bloc de bois de manière à le faire couler. En l'attachant à une ligne de pêche, ils le laissèrent descendre à une profondeur variable de 180 à 900 mètres. Un flotteur empêchait le bloc de couler davantage et le système était ainsi abandonné à lui-même. « Ce fut vraiment un spectacle étrange, dit l'un de ces officiers, de voir ce flotteur s'avancer contre le vent, la mer et le courant, avec une vitesse habituelle d'un nœud, laquelle en une circonstance s'éleva jusqu'à un nœud et trois quarts. Les canotiers ne pouvaient réprimer l'expression de leur étonnement ; on eût dit que quelque monstre marin entraînait le bloc dans sa marche. »

Nous avons dit que le courant froid du détroit de Davis s'arrête tout à coup au Gulfstream, en envoyant une branche superficielle le long du rivage des États-Unis. D'après Maury, une autre branche plonge sous le Gulfstream lui-même et continue, invisible encore pendant longtemps, sa route au Sud jusqu'aux Bermudes et aux Antilles.

La plus grande partie des *ice-bergs* qui dérivent des hautes latitudes s'arrêtent dans un coude du Gulfstream formé sous la pression des eaux polaires, et ils y fondent peu à peu ; mais on voit plusieurs d'entre eux continuer à marcher vers le Sud, à travers les rapides eaux chaudes. Ils sont sans doute entraînés dans cette direction par ce courant sous-marin agissant sur la partie plongeante du bloc de glace qui, d'après le calcul, est six fois et demie plus grande que la partie émergée.

Le même phénomène se présente dans les détroits de Davis et

de Smith, mais en sens inverse. Les *ice-bergs* marchent vers le Nord, même en brisant la couche de glace, et démontrent ainsi l'existence d'un contre-courant sous-marin.

Le commandant de l'un des deux navires que l'Amérique envoya à la recherche de John Franklin, rapporte qu'un jour ces deux bâtiments avançaient péniblement par le moyen des câbles dans le canal de Wellington, contre un courant de surface dirigé vers le Sud, lorsqu'un *ice-berg* passa en remontant vers le Nord et en les dépassant rapidement.

Le passage suivant du journal d'un baleinier anglais est relatif à un fait semblable :

« 23 *février*, lat. 68° N., long. 65° O. — Les craintes que faisait naître l'approche d'un *ice-berg* semblaient devoir se réaliser aujourd'hui. Vers trois heures après-midi, il aborda la surface de glace dans laquelle nous étions enfermés, et la brisa sur une étendue de plusieurs milles avec un bruit semblable à celui d'une décharge de cent pièces d'artillerie; ses dimensions le faisaient ressembler à une véritable montagne. Chacun s'attendait à voir le navire mis en pièces, car l'*ice-berg* vint très-près de notre navire, et n'en était séparé que par des masses de glaces brisées lors du premier choc, mais réunies ensuite en un tout compacte par le fait de cette énorme pression. Sa vitesse était d'environ quatre nœuds à l'heure; la perte du navire semblait inévitable.

« 24 *février*. — L'*ice-berg* est toujours en vue, mais il dérive rapidement vers le nord-est. »

Le courant sous-marin qui entraîne les *ice-bergs* venant des régions méridionales doit être relativement chaud et c'est à lui qu'on peut attribuer la formation, dans le voisinage du pôle, d'une mer intérieure, libre de glace, que des navigateurs russes avaient aperçue au nord de la Nouvelle-Sibérie, et au bord de laquelle le docteur Kane est arrivé par le détroit de Smith. La surface de cette mer polaire, qu'on a nommée *Polynia*, est évaluée à plus de 4,000 milles carrés. Du haut du cap Constitution elle paraissait s'étendre à perte de vue. Le flux et le reflux s'y faisaient sentir et de grosses vagues roulaient sur le rivage comme dans l'Océan. L'élévation du thermomètre, l'humidité de l'atmosphère, la présence d'oiseaux et d'animaux marins qui habitent d'ordinaire les eaux libres, indiquaient aux explorateurs de ces solitudes glacées la permanence d'un climat moins rigoureux.

Nous donnerons plus loin les raisons théoriques de l'existence, aux détroits de Gibraltar, du Sund, de Bab-el-Mandeb, etc., de courants sous-marins inverses de ceux qui introduisent les eaux de l'Océan dans les mers intérieures. Nous nous bornons ici à rapporter des observations qui peuvent être considérées comme des preuves directes.

Un officier anglais, traversant dans une chaloupe le détroit du Sund, à l'entrée de la Baltique, se trouva rapidement entraîné par le courant. Mais ayant laissé couler à une certaine profondeur un sceau chargé d'un boulet, la vitesse du courant se trouva diminuée ; en laissant le sceau descendre encore davantage, le canot finit par être porté dans une direction contraire à celle du courant de surface.

En 1712, M. de l'Aigle, capitaine du corsaire *le Phénix*, de Marseille, donna la chasse, près de la pointe de Ceuta, à un navire hollandais. L'ayant approché vers le milieu du détroit, entre Tarifa et Tanger, il le coula en lui envoyant une bordée et recueillit l'équipage. Peu de jours après, ce navire coulé, dont le chargement consistait en huile et en eau-de-vie, revint sur l'eau, près du rivage de Tanger, c'est-à-dire à quatre lieues à l'ouest du point où il avait disparu, distance qu'il avait parcourue dans une direction contraire à celle du courant de surface, évidemment entraîné par un courant sous-marin allant de la Méditerranée dans l'Océan.

II

Causes des courants marins. — Influence de la température des eaux, de leur évaporation, de leur salure.

Les courants de la mer dépendent du concours d'un grand nombre de causes plus ou moins importantes dont la recherche est difficile, parce qu'elles agissent presque toujours simultanément. Dans son remarquable ouvrage : *Tableau des vents et des courants*, publié en 1806, un savant français, Ch. Romme, se borne à attribuer les courants aux vents et à l'action périodique des marées. Cette dernière n'est importante que dans les canaux des rivages. La grande onde, due à l'attraction sidérale, s'élève et s'abaisse, mais elle ne donne pas lieu à un mouvement horizontal considérable. On ne peut regarder d'un autre côté les vents

que comme des forces qui accélèrent ou diminuent la vitesse des courants, et non comme la cause principale de leur formation. Assurément on voit souvent la mer s'élever dans les ports de la Méditerranée quand le vent souffle pendant quelque temps vers la côte. L'amiral Smyth signale une hausse de trois mètres et demi au-dessus du niveau habituel de la mer dans un golfe de Toscane, après des tempêtes du sud-ouest. L'amiral Fitz Roy rapporte que, dans la Plata, les eaux du fleuve s'élèvent de plusieurs pieds à Montévidéo et de plusieurs brasses à Buenos-Ayres, toutes les fois que les coups de vent appelés *pamperos* éclatent dans le sud ou dans l'est. Le résultat, dans le premier cas, est un fort courant de surface dans les bouches de Bonifacio ; dans le second, une accélération dans la vitesse du fleuve. Mais est-il possible d'admettre que d'immenses courants comme le Gulfstream soient le débouché des eaux refoulées dans la mer des Antilles par les vents alizés ? Maury dit avec raison que les lois connues de l'hydrostatique s'y opposent. Cette hypothèse impliquerait, pour la mer des Antilles et le golfe du Mexique, l'existence d'un niveau supérieur à celui de l'Atlantique. Le major Rennell, partisan de cette théorie, compare le Gulfstream à une immense rivière venant d'un terrain relativement plus élevé et descendant dans une plaine. Maury répond à cette supposition par le calcul suivant : « Nous connaissons assez exactement la largeur et la vitesse moyenne du Gulfstream dans la passe de la Floride, et, plus loin, au large du cap Hatteras. De ces données nous pouvons conclure les profondeurs et montrer qu'il s'en faut d'au moins 50 pour 100 que la profondeur soit aussi considérable devant Hatteras que dans la passe ; de sorte que les couches inférieures du Gulfstream doivent se diriger d'un niveau à un autre plus élevé et monter le long d'un véritable plan incliné, descendant du nord vers le sud, dont la pente n'est pas de moins de 25 centimètres par mille. Ce cas d'une immense rivière descendant dans une plaine, pour nous servir de l'expression du major Rennell, nous le trouvons dans le Niagara, dont les eaux, au lieu de se conserver distinctes et nettement tranchées au milieu de celles du lac, s'étendent et se confondent immédiatement avec elles. Le Gulfstream, au contraire, loin de se mêler à l'Océan, en reste distinct pendant un trajet de près de 3,000 milles, absolument comme pourrait le faire un véritable courant d'huile traversant l'Atlantique. »

Comment pourrait-on expliquer par les vents le courant froid du détroit de Davis, qui présente un volume égal à celui du Gulf-stream? Ici, il n'y a pas une action constante en jeu comme celle des alizés, car, pendant la moitié de l'année au moins, les vents sont opposés à la direction de ce courant. De plus, il est sous-marin dans une grande partie de son trajet, et ainsi entièrement soustrait à leur influence.

Les traits généraux de la circulation tant superficielle que sous-marine de l'Océan nous sont, au contraire, donnés par une théorie analogue à celle qui, depuis Halley, a déjà expliqué les principaux courants de l'atmosphère. Voyons ce que doit produire le changement de densité résultant de l'inégalité d'échauffement de la mer aux pôles et à l'équateur par la chaleur solaire. Imaginons à cet effet un globe de la dimension de la Terre, dont le noyau solide serait couvert d'une couche d'eau de 400 mètres de profondeur, à une température constante. Il n'y aurait aucun mouvement dans cette masse ; mais supposons la zone comprise entre les tropiques soudainement convertie en huile jusqu'à une profondeur de 200 mètres, l'équilibre serait évidemment troublé, et il s'établirait aussitôt un système de courants et de contre-courants, car l'huile s'écoulerait vers les pôles par la surface et serait remplacée par l'eau qui affluerait vers l'équateur en courant inférieur. Si l'on suppose encore qu'arrivée dans le bassin polaire, l'huile redevienne eau et que l'eau redevienne huile à l'équateur, la circulation s'opérerait d'une manière continue entre les régions extrêmes. Il résulterait, de plus, d'une rotation de l'est à l'ouest autour de l'axe, qui imprimerait aux molécules des divers parallèles des vitesses différentes, que les courants dirigés vers le pôle seraient déviés à l'est et que les courants dirigés vers l'équateur seraient déviés à l'ouest. Enfin, le noyau solide du globe imaginaire devenant semblable au noyau de notre planète, on verrait les courants se modifier par des réflexions à distance sur les continents et les îles de manière à reproduire les principales formes de mouvement que nous avons décrites.

D'autres effets s'ajoutent encore à cette action directe de la chaleur. L'évaporation enlève continuellement aux mers équatoriales une énorme quantité d'eau qui, sous la forme de nuages, est portée aux régions extra-tropicales. De là un dénivellement qui engendre nécessairement des courants variables selon les sai-

sons et selon l'accroissement ou la fusion des glaces polaires.

A cette évaporation correspond l'augmentation de la salure des eaux, la vapeur enlevée n'étant que de l'eau douce. Les molécules superficielles plus salées descendent et sont remplacées par des molécules plus légères. Il se produit un mouvement vertical continu, et en même temps, dans les couches inférieures, un mouvement des eaux plus denses de l'équateur vers les pôles, qui peut rendre compte des courants chauds sous-marins semblables à celui du détroit de Davis.

Maury, pour mettre en relief les effets des différences de salure, appelle l'attention sur ce qui se passe dans les détroits des mers intérieures. Il prend pour exemple la mer Rouge, qui, longue, étroite, sans pluies, sans rivières, est soumise à une très-grande évaporation. Située entre les parallèles de 15° et de 30° de latitude nord, elle est parcourue pendant la saison des chaleurs, de mai en octobre, par des vents extrêmement secs et brûlants. On calcule que chaque année elle perd, sous forme de vapeur, une tranche liquide d'une surface égale à la sienne et d'une épaisseur de deux mètres et demi. Cette eau est enlevée au courant de surface qui pénètre par le détroit de Bab-el-Mandeb et dont l'eau se trouve de moins en moins salée en approchant de Suez. La plus grande partie du sel abandonné tombe au fond, où, après la saturation, des dépôts cristallisés auraient dû s'être faits depuis longtemps. Le bassin de la mer Rouge n'en contient pas, tandis qu'on en trouve au fond de la mer Morte. Cette différence provient de ce qu'elle n'est pas fermée comme cette dernière, et qu'elle peut se débarrasser de son excédant salin par un courant sous-marin qui passe dans les profondeurs de son détroit. On démontre de la même manière la nécessité d'un contre-courant sous-marin à Gibraltar, car l'eau des fleuves qui se jettent dans la Méditerranée est insuffisante pour compenser l'évaporation de la surface de cette mer. Nous avons indiqué, du reste, une preuve directe de ce courant.

On doit attribuer en partie, selon Maury, la grande vitesse du Gulfstream à l'action des sels qui existent dans une proportion tout à fait exceptionnelle dans la mer des Antilles et dans le golfe du Mexique. Cette salure est si forte que les eaux de ces régions détruisent beaucoup plus rapidement qu'ailleurs le doublage en cuivre des navires qui y séjournent. Elle est due non-seulement

à la puissante évaporation locale, mais encore à l'afflux des eaux du courant équatorial, qui restent très-salées après avoir saturé les alizés de leurs vapeurs. L'observation montre d'un autre côté que dans le bassin polaire, la mer du Nord et la Baltique, l'eau est presque douce et ne renferme que la moitié des sels de l'eau de mer ordinaire. La tendance à l'équilibre de ces deux eaux de pesanteur spécifique si différente sera donc une des causes de la vitesse initiale du grand courant. L'augmentation de pression exercée par les eaux du golfe, dit Maury, fait jaillir les eaux de leur réservoir par l'issue la plus commode et les envoie se frayer un passage à travers les eaux de l'Océan. »

Pourquoi ce courant n'est-il pas sous-marin comme tous ceux dont nous venons de parler ? La solution de cette question réside dans la différence de la température du Gulfstream avec celle des eaux adjacentes. Leur dilatation peut compenser, et au delà, la différence de salure.

Cette dilatation explique aussi pourquoi la surface du Gulfstream est plus élevée que celle de l'Océan. Le dénivellement est en outre plus grand au milieu que sur les bords, de deux pieds environ, de sorte que la surface figure deux plans inclinés adossés l'un à l'autre. On a observé qu'un navire, soumis lui-même à l'influence du courant principal, qui met un canot à la mer, continue à dériver dans la direction du Gulfstream, tandis que ce canot dérive à l'est ou à l'ouest, suivant le courant de surface qui descend de l'axe vers le bord, et qui est trop faible pour agir sur le navire.

Maury assigne dans la production de la force motrice des courants une fonction importante aux zoophytes madréporiques. On sait que les polypiers de ces zoophytes, si vastes dans quelques régions qu'ils forment des archipels, et peut-être des continents futurs, sont composés de matières solides extraites de l'eau de mer, où elles se trouvent en dissolution. Chacun de ces petits animaux, en enlevant à une molécule d'eau le sel dont il a besoin, change sa pesanteur spécifique. Elle se meut alors en cédant à la pression des molécules plus denses qui l'environnent. Un courant peut naître de l'addition d'un nombre immense de ces faibles impulsions. « A quel chiffre, dit Maury, peut s'élever la quantité de matière solide ainsi extraite journellement de la mer ? Sont-ce des milliers ou des milliards de tonneaux ? Nul ne le sait ; mais quel

qu'en soit le poids, son action sur le mouvement des eaux est immédiate, et nous voyons que de la sorte ces animaux, privés de la locomotion, dont la vie est pour ainsi dire végétale, n'en semblent pas moins avoir la propriété remarquable de remuer la masse entière de l'Océan, des pôles à l'équateur. Quelle peut être la cause de ces courants singuliers signalés par les navigateurs au milieu du Pacifique, et qui semblent aussi puissants qu'inexpliqués? On ignore leur point de départ et on les voit se perdre au milieu des mers. Certes, les changements de température, la précipitation, l'évaporation et l'excès de salure qu'elle entraîne, toutes ces causes doivent avoir là leur part d'influence; mais ne peut-il pas en être de même de ces myriades de polypes que nous savons être incessamment à l'œuvre dans ces parages au sein des profondeurs océaniques? »

Maury ajoute une réflexion très-juste sur le rôle que remplissent ces innombrables petits animaux dans les harmonies de la nature. Il les regarde comme constituant une véritable force compensatrice à laquelle est dû le maintien des proportions constitutives de la composition de l'eau de mer. Les fleuves entraînent incessamment dans l'Océan tous les sels solubles dont les eaux pluviales se chargent pendant leur trajet dans l'intérieur des terres. Il devrait en résulter une accumulation constante qui altérerait l'eau de mer jusqu'à la rendre impropre à la vie animale. C'est alors qu'interviennent les zoophytes et les mollusques, qui transforment les sels dissous en madrépores, en coraux, en coquilles et en perles. Un autre but providentiel se révèle en même temps. « N'est-ce pas un spectacle plein de grandeur, disait M. Dumas dans une de ses belles leçons, que celui que la nature nous offre dans la sublime simplicité de ses moyens? L'eau des pluies, chargée de l'acide carbonique de l'air, tombe sur nos collines calcaires; elle s'y charge de carbonate de chaux qu'elle verse au sein des fleuves : porté dans l'Océan, des courants réguliers l'entraînent bientôt, et saisi par des animaux microscopiques, il ajoute une pierre imperceptible à l'édifice de ces empires nouveaux qui s'y préparent pour l'avenir de l'humanité. »

Les sondes amènent presque toujours des grandes profondeurs de l'Océan des coquilles appartenant à des infusoires. Le sol de l'Atlantique est en grande partie couvert d'une couche épaisse où

dominent les *foraminifères ;* chaque région maritime paraît d'ailleurs renfermer des espèces particulières. Ces animaux microscopiques ne vivent probablement qu'à la surface de la mer, et c'est après leur mort que leurs légères carapaces descendent lentement jusqu'au fond. Peut-être la plupart d'entre elles, par suite de l'action des courants, sont descendues ainsi à des distances extrêmement grandes du point où elles se sont formées. En faisant à côté du classement des coquilles du fond un classement des animaux trouvés dans l'eau puisée à la surface, Maury croit qu'il est possible de déduire de la comparaison de ces collections des indications sur la marche des courants. Pour les suivre à travers les mers, les coquilles serviraient pour ainsi dire d'*étiquettes.*

Humboldt met au nombre des causes générales, par lesquelles les courants sont produits, les variations horaires de la pression barométrique. Ce mouvement, si régulier entre les tropiques, se propage de l'est à l'ouest, mais le transport des eaux qui en résulte ne saurait être très-considérable. Il y a, au contraire, des variations locales et accidentelles qui ont une grande influence. Au centre des cyclones, par exemple, la pression atmosphérique diminue quelquefois jusqu'à 70 centimètres. La mer s'élève alors au-dessus du niveau ordinaire et forme une montagne conique qui s'avance avec le météore. Lorsque cette immense masse d'eau rencontre les côtes, il en résulte le terrible phénomène des *ras de marée.*

Certains mouvements soudains de l'Océan, très-violents, proviennent de tremblements de terre sous-marins. En 1854, les officiers d'une frégate russe, qui était à l'ancre dans la baie de Simoda, au Japon, virent arriver, un quart d'heure après une forte secousse, deux vagues immenses qui jetèrent leur bâtiment à la côte et détruisirent presque entièrement la ville. Ce mouvement se propagea dans toute la largeur de l'océan Pacifique, ainsi qu'on put le constater dans un des ports de la Californie, où les échelles de marée indiquèrent le passage de plusieurs vagues excessivement hautes.

Dans l'atmosphère, ce sont les couches d'air inférieures qui sont agitées par les courants, et à peu de milles au-dessus de la surface terrestre, on rencontre un calme presque parfait. C'est l'inverse qui a lieu dans l'Océan. La distance jusqu'à laquelle les

courants sous-marins circulent au-dessous de sa surface est petite relativement à ses grandes profondeurs, où les eaux restent en repos. Dès qu'une molécule se refroidit jusqu'à la température d'environ 2°, qui correspond au maximum de densité de l'eau de mer, elle doit tomber au fond, où elle ne sera dérangée de sa position d'équilibre que par des causes accidentelles. Cette vue théorique a été confirmée par des expériences directes faites au moyen des ingénieux thermomètres de M. Walferdin. Il y a lieu de rappeler à ce sujet les observations de Saussure, qui a trouvé, en toutes saisons, au fond des lacs de la Suisse, la température de 4°, qui marque le maximum de densité de l'eau douce. Le docteur Mühry, dans sa *Météorologie géographique générale*[1], admet que la couche des eaux calmes, à laquelle il donne le nom de couche *homothermâle*, s'étend dans toutes les mers et possède la température uniforme que nous venons d'indiquer. Il faut descendre sous la zone torride, à environ 2,500 mètres, pour la rencontrer ; mais, en s'éloignant de l'équateur, cette couche s'élève. En passant de la température superficielle moyenne de 28° à celle de 15°, on la trouve déjà à 1,000 mètres. Elle émerge naturellement à la surface de l'Océan à la ligne isotherme de 2°, à peu près sur les parallèles de 60° nord et de 56° sud. Dans les régions plus voisines des pôles, le plan qui forme la surface de la couche homothermale s'abaisse de nouveau, car l'eau de mer, ne se congelant qu'à 2°, c'est d'ordinaire une eau plus froide et plus légère qui occupe la surface.

L'existence de cette couche au fond de l'Océan est éminemment favorable à la conservation des câbles télégraphiques. C'est seulement à l'approche des rivages qu'il est nécessaire de les protéger contre les courants et les vagues. La pose de ces câbles a donné une puissante impulsion au sondage des mers, et par suite à la construction des cartes *orographiques* qui doivent nous donner la configuration du sol sous-marin dans tous les bassins du globe. Ces cartes aideront ensuite à l'étude des courants, en donnant la connaissance exacte des surfaces qui les réfléchissent.

Les canaux de la circulation générale seront mieux connus, surtout par les sondes thermométriques à différentes profondeurs, vivement recommandées par Maury à tous ses coopérateurs de

[1] Leipzig, 1860.

l'association maritime. Les Instructions uniformes données par la conférence internationale réunie à Bruxelles en 1853, prescrivent par jour trois observations de la température de la surface de la mer, et, en outre, dans des circonstances particulières, telles que les changements de couleur de l'eau, le voisinage de glaces, l'approche d'écueils, du Gulfstream ou d'autres courants, de l'embouchure des grandes rivières, etc. On devra prendre aussi cette température quand on sera en présence d'orages et de phénomènes électriques. Au moins une fois par jour on observera, à différentes profondeurs, la température de l'eau et sa pesanteur spécifique.

Nous avons parlé de l'importance que peuvent avoir des collections d'animalcules de la mer, avec l'indication des lieux dans lesquels on les a recueillis. Toutes les fois qu'on verra sur la surface de l'eau des taches colorées, disent les Instructions, on devra en puiser dans un seau et la mettre dans des flacons soigneusement bouchés, pour être ensuite soumise à l'analyse microscopique. L'indication de la rencontre des baleines, des bancs de poissons et de méduses, des bois flottants et des amas d'herbes marines, peut aussi être très-utile.

De semblables observations réunies et comparées aident non-seulement à découvrir les lois physiques de l'Océan, mais elles peuvent encore guider l'esprit vers des idées très-élevées, comme Maury le montre souvent dans ses ouvrages. Aussi, après avoir cité les faits qui établissent que les courants chauds ou froids sont les routes suivies par les espèces voyageuses, il ajoute les réflexions suivantes :

« L'Océan a ses climats comme la terre a les siens ; tous deux sont modifiés suivant la latitude ; mais, d'une part, c'est l'élévation au-dessus du niveau de la mer qui détermine le changement, et de l'autre, c'est l'abaissement au-dessous de ce niveau. Dans les deux cas fonctionne une circulation régulatrice ; mais ici elle est due aux vents, et là aux courants.

« Dans l'Océan, comme sur terre, tous les êtres animés sont soumis à l'influence des climats. Envisagée sous ce point de vue, la mer doit avoir certaines fonctions spéciales, de même que ses courants, de même aussi que les animaux qui peuplent ses profondeurs, et l'étude de ces divers phénomènes révèle alors à chaque pas de nouvelles merveilles ; on ne tarde pas à voir, dans cette masse liquide qui semblait inanimée au premier abord, un

véritable monde, vivant et se mouvant en obéissant à des lois déterminées. Plus on avance, et plus l'impression de cette harmonie devient saisissante ; on comprend que cet ordre parfait ne peut être l'effet du hasard et qu'une intelligence suprême a dû y présider.

F. Zurcher.

III

ORIGINE SOLAIRE DE L'ÉLECTRICITÉ TERRESTRE

I

Importance de l'étude des courants terrestres. — Travaux de Bain et de M. Walker.

Dès que l'habile électricien Bain eut constaté que des courants spontanés traversent presque sans interruption les fils conducteurs dont les deux extrémités sont en communication avec des masses métalliques enfouies dans le réservoir commun, les physiciens s'imaginèrent qu'il serait très-facile de profiter de cette propriété pour les lignes télégraphiques ; ils crurent pouvoir se dispenser d'entretenir les piles voltaïques nécessaires à la production de courants artificiels. Mais ils virent bientôt qu'ils avaient trop bien auguré de la libéralité de la nature, et que le globe refusait de faire à lui seul les frais de la transmission des télégrammes.

Faut-il croire que l'on conçut comme une espèce de dépit en reconnaisant que l'on ne pouvait tirer aucun parti d'une propriété aussi surprenante qu'inattendue? Faut-il attribuer l'indifférence qui remplaça une espèce d'engouement à la difficulté que l'on éprouva dès que l'on se proposa de séparer les courants spontanés de ceux que produit l'oxydation des métaux enfouis dans le sol ?

Nous l'ignorons ; toujours est-il qu'on ne songea guère à mesurer ces effets singuliers avec tout le soin que l'on peut apporter à ces sortes d'expériences. Si M. Becquerel ne s'était préoccupé à différentes reprises de déterminer la part que quelques actions locales, telles que le contact des terres et des eaux, peuvent prendre

à leur production, on n'aurait presque plus entendu parler de courants telluriques. Mais les effluves d'électricité dynamique qui accompagnent les grandes aurores attirèrent de nouveau l'attention du monde savant, et ouvrirent une nouvelle série de recherches. Comment ne pas se préoccuper d'une force donnant lieu à mille décompositions chimiques, faisant jaillir des étincelles visibles quelquefois en plein jour, obligeant les télégraphes Morse à bégayer des paroles incompréhensibles, et enfin susceptibles de compromettre, dans certains cas, la vie des employés chargés de la transmission des télégrammes?

L'administration française recueille à chaque instant une foule de documents intéressants qui, malheureusement, n'ont point encore vu le jour, sans doute parce que l'administration veut réserver la question pour des recherches ultérieures. Il en résulte que le seul travail sérieux qui ait encore paru sur la matière a été publié en Angleterre il y a déjà quelques mois. Nos compatriotes ont donc été privés de l'honneur de devancer nos voisins dans une étude destinée à mettre en évidence une foule de phénomènes du plus haut intérêt pour la science.

M. Walker, auteur des belles recherches auxquelles nous venons de faire allusion, ne s'est pas contenté, comme ses prédécesseurs, de quelques observations isolées les unes des autres. Il a profité des facilités particulières que lui donnaient ses fonctions dans une des principales compagnies télégraphiques d'Angleterre pour appliquer les méthodes les plus exactes et les plus rigoureuses. Entre ses mains, la boussole est devenue, un magnétomètre différentiel, indiquant les relations magnétiques qui existent entre deux stations séparées par une distance quelconque. Le savant physicien a étudié le flux et le reflux de cet océan mystérieux qui nous enveloppe de toutes parts. Il a sondé le cours de ce fleuve invisible qui roule ses ondes au-dessous de nos pieds toutes les fois que l'aurore brille au ciel du Groenland.

Ses observations, il est vrai, n'ont pu s'étendre au delà des limites de l'Angleterre; mais ne serait-il pas extraordinaire que les courants de l'extrême nord descendissent jusqu'à ces latitudes moyennes pour s'arrêter brusquement en s'approchant de l'équateur? Il faudrait supposer que les deux hémisphères sont isolés l'un de l'autre, comme si une barrière infranchissable de calmes électriques se dressait entre les deux moitiés du monde.

Heureusement la nature s'est trahie-elle-même pendant la grande aurore de 1859, en laissant les lueurs du Sud conspirer avec celles du Nord pour égayer les ténèbres au même instant physique. Comment ne pas reconnaître que l'électricité terrestre bat d'un seul cœur sous tous les climats, en apprenant que les habitants de Valparaiso ont vu leur ciel illuminé au même instant physique que ceux d'Alger?

Quel est le rôle de ces immenses fleuves invisibles qui règnent d'un pôle à l'autre? Quelle est l'origine de ces magnifiques décharges qui embrassent à la fois les cieux de l'Ourse et ceux de la Croix du Sud? Quel rapport existe entre ces lueurs innocentes et les déflagrations tumultueuses qui laissent après elles l'odeur de l'ozone, qui sèment l'épouvante et trop souvent la dévastation? Telles sont les questions que nous allons essayer de résoudre.

II

Les aurores boréales.

Le télégraphe de Morse démontre d'une manière en quelque sorte constante que la terre, prise dans son ensemble, est conductrice de l'électricité. Les lignes de l'État transmettent quotidiennement plus de dix mille dépêches, dont pas une seule n'arriverait à destination si la sphère terrestre ne se comportait, devant le fluide, comme une boule de cuivre. Nous pouvons donc commencer par représenter notre planète par une boule métallique, si nous voulons construire un appareil qui puisse faire comprendre la manière dont se produisent les phénomènes d'électricité naturelle.

Sur cette enveloppe, qui laisse passer dans tous les sens les courants les plus faibles, nous placerons une couche de matière isolante, telle que la résine et la cire. Cette ceinture nous représentera très-bien les régions inférieures de l'atmosphère, car l'air que nous respirons se comporte, dans les circonstances ordinaires, comme un isolant assez énergique. En effet, les machines électriques peuvent conserver une tension considérable malgré le voisinage d'une foule d'objets en communication avec le réservoir commun.

Mais cette espèce d'imperméabilité ne s'étend point jusqu'à la région des nuages, où l'air se trouve dans un état de raréfac-

tion qui permet au fluide de traverser de grandes distances avec la plus extrême facilité. L'électricité est pour ainsi dire chez elle dans les régions élevées où l'homme trouve à peine moyen de respirer. Si nos physiciens pouvaient transporter là-haut leurs instruments et leurs appareils, ils répéteraient sur une grande échelle les plus brillantes expériences de l'œuf électrique ; on verrait des gerbes de lumière, des aigrettes sortir des conducteurs de la machine électrique.

A chaque instant la nature efface l'éclat des plus splendides lueurs que l'appareil de Rhumkorff allume dans les tubes de Geisler ; souvent les nuées se revêtent de phosphorescences spontanées de toutes couleurs, qui les parent pendant des heures entières, et qui effacent les lueurs de l'arc-en-ciel.

Si nous voulons couronner l'édifice de notre petit appareil, nous devons donc recouvrir notre cire d'une couche conductrice comme le serait une feuille d'or très-mince, une tôle de fer, une seconde enveloppe de cuivre.

Mais qu'avons-nous construit en opérant de la sorte? N'est-ce point une véritable bouteille de Leyde repliée sur elle-même ?

Supposons que l'on accroche notre bouteille de Leyde au conducteur d'une machine électrique et voyons ce qui se passera dans ce petit monde factice lorsque nous tournerons la roue de verre. L'armature extérieure, la sphère métallique qui recouvre le tout, prendra la tension du conducteur ; le fluide se répandra librement sur toute cette surface. Puis il agira par induction à travers la couche isolante et décomposera le fluide neutre de la boule intérieure. L'électricité du dedans appellera l'électricité du dehors, et inversement l'électricité du dehors viendra se précipiter sur l'électricité du dedans. Il y aura attraction mutuelle, pression dans les deux sens, puis rupture, déflagration, fusion ; un petit tonnerre tombera du ciel sur notre terre quand il ne préférera monter vers notre ciel. De quelque manière qu'ils s'y prennent, les deux fluides sauront bien se retrouver, comme les deux moitiés de l'âme dont parle le divin Platon.

Supposons que la cire soit moins épaisse vers les extrémités de deux diamètres, qu'elle soit moins solide, un peu plus humide, que la composition soit un peu différente, la réunion des deux électricités aura lieu par les deux calottes polaires. Alors se produira un flux de lumière douce, constante, que pourront admirer à leur

aise des cirons emprisonnés sur la sphère intérieure. Voilà l'aurore boréale.

Nous sommes, nous autres, des cirons errant sur une immense bouteille de Leyde construite électriquement d'après les mêmes principes. Tantôt un commerce violent de flammes ardentes s'établit entre le ciel et la terre, tantôt un flot de lumière éthérée douce et tranquille ombrage les horizons des Samoïèdes et des Patagons.

Lorsqu'une cause inconnue augmente la tension électrique des nuages, celle des couches inférieures est également surexcitée par influence. La décharge a donc lieu entre le ciel et la terre par les points où la résistance est moindre, par ceux où les couches d'air sont moins épaisses et surtout plus conductrices.

Si l'électricité choisit le chemin des pôles, c'est que ce chemin a, pour ainsi dire, été tracé par la nature. En effet, dans ces régions glacées, l'atmosphère est sensiblement moins épaisse, car la force centrifuge accumule constamment l'air vers les zones équatoriales. Toutes choses égales, l'air polaire est beaucoup plus voisin de la saturation que l'air équatorial; il est donc beaucoup plus fortement conducteur. Voilà bien les fissures, les défauts d'homogénéité, les inégalités d'épaisseur, tout ce dont nous parlions tout à l'heure.

Quand une cause puissante de perturbation se fait sentir sur le pouvoir directeur du globe, on dirait que le magnétisme du ciel cherche à se mettre en communication avec celui de la terre. Le fluide de l'enveloppe extérieure rejoint la surface terrestre par l'extrémité de l'axe polaire, et remonte vers les régions éthérées en passant par l'autre bout du monde.

S'il est permis de juger de l'analogie des causes par celle des effets, on peut dire que la forme et la couleur des aurores polaires complètent la démonstration précédente. En effet, l'arcade boréale présente un aspect identique à celui que prennent les effluves magnétiques sous l'influence du pôle austral d'un électro-aimant. Au contraire, les rayons étincelants des régions antarctiques, rappellent la forme que prend la décharge dans l'air raréfié lorsqu'elle a lieu sous l'influence d'un pôle boréal[1].

[1] M. Delarive a construit un appareil à l'aide duquel sont réalisés les phénomènes que nous venons de dépeindre. M. Menu de Saint-Mesmin en a donné une description très-complète dans son article sur les orages magnétiques. (Voir *Annuaire*, 2e année.)

III

Les aurores boréales ont une relation avec les taches que présente la surface du soleil.

Où irons-nous chercher la cause de phénomènes qui agissent avec une intensité aussi majestueuse? Ne serait-ce point pécher contre la logique scientifique que d'y voir simplement le contre-coup de quelques orages particuliers dévastant des contrées que le hasard a mal servies?

Aussi plusieurs physiciens ont-ils pensé qu'il était naturel de rapporter ces mouvements extraordinaires à des changements s'opérant loin de notre globe, mais assez notables pour que leur grandeur put compenser leur distance. Cette opinion, qui peut paraître extraordinaire, n'a pas tardé à recevoir une espèce de démonstration expérimentale. En effet, on a reconnu, par des mesures très-précises, que la place du Soleil dans son orbite apparente exerce une influence décisive sur les perturbations annuelles de l'aiguille aimantée, et que le plus surprenant synchronisme existe entre les mouvements des barreaux qui vibrent isolément dans des lieux séparés par toute l'épaisseur du sphéroïde terrestre.

Mais la science moderne ne peut se contenter de quelques lointaines analogies vaguement entrevues par quelques physiciens; car ces coïncidences n'ont de prix réel et de mérite que parce qu'elles nous permettent de nous diriger dans les mille détours du grand labyrinthe.

En observant les oscillations de l'aiguille, qui, quoique pouvant passer pour capricieuse, n'est pourtant qu'une esclave, Arago prédisait avec une grande précision l'arrivée des aurores. Une étude plus attentive de ces soubresauts permettrait d'aller plus loin encore, de lire ce qui se passe à la surface du Soleil, de deviner les époques où la gloire du dieu du jour se trouvera temporairement voilée par une espèce de lèpre. Car tous les troubles qui se manifestent par des taches, des facules, des perturbations quelconques de la photosphère, semblent troubler périodiquement le repos de nos magnétomètres.

Il paraît donc exister une liaison intime entre les périodes que Schwabbe a reconnues dans la fréquence des taches du Soleil, et dans le retour des perturbations magnétiques.

L'observation du disque solaire, à ce point de vue important, a été commencée à plusieurs reprises, et l'*Association britannique*, pour le progrès des sciences, se propose de l'établir d'une manière systématique. Déjà un savant anglais, M. Howlet, vient de publier, à Londres, 64 planches comprenant 128 dessins du disque, et un grand nombre de figures de taches offrant quelquefois les formes les plus bizarres.

Certaines ressemblent à des têtes humaines grossièrement dessinées, caricatures qui viennent apparaître sur cette mer de flammes. Le 4 janvier 1863 on voyait très-distinctement une espèce de squelette, qui aurait excité la plus vive appréhension dans un siècle d'ignorance, et qui, même dans un siècle éclairé, mérite d'être signalé comme une des singularités de la nature.

De son côté, M. Bache, physicien américain, a essayé de donner un catalogue des aurores boréales, et le journal de Sillimann contient un très-curieux résumé de renseignements puisés par ce savant à une foule de sources différentes. Mais il est clair qu'on ne saurait se dispenser de l'établissement d'observatoires construits dans les régions polaires pour étudier ces flammes qui semblent chargées d'écrire dans le ciel les différentes oscillations du magnétisme terrestre. C'est seulement en se résignant à braver les froids les plus rigoureux que les savants pourront étudier les ténèbres de la grande nuit du pôle boréal et établir rigoureusement la nature de la connexion qui existe entre les divers phénomènes que nous venons d'exposer.

Jusqu'à ce jour, comme on le voit d'après ce que nous venons de dire, on a constaté une parenté étroite entre les aurores boréales et les taches solaires. Toutes deux sont accompagnées de la production de perturbations dans le pouvoir magnétique de la sphère terrestre. Les taches ne peuvent apparaître sans que tous les magnétomètres soient ébranlés; les aurores ne peuvent parer les cieux de l'Ourse et de la Croix du Sud sans que de violentes agitations soient imprimées à tous les barreaux aimantés suspendus à des fils de soie sans torsion, et oscillant en face d'une mire graduée suivant le système de Gauss. Mais les aurores méritent-elles d'être considérées comme les filles des taches solaires? Voilà ce qu'il serait glorieux d'apprendre. Voilà le mystère qu'un prochain avenir nous permettra sans doute de sonder.

IV

Le soleil est un aimant. — Production des courants telluriques. — Transformation en électricité dynamique d'une fraction de la force vive de la terre — Transformation ultérieure de cette électricité en force vive.

Des faits précédents nous pouvons conclure, qu'il y a une liaison évidente entre le magnétisme terrestre et l'état de l'atmosphère solaire. Ces faits nous autorisent même à supposer que le soleil peut revêtir les propriétés d'un aimant, autour duquel circulerait des sphères conductrices.

Cette hypothèse étant admise, reprenons un instant notre bouteille de Leyde sphérique, ou plus simplement une sphère de cuivre. Faisons-la circuler avec une vitesse arbitraire autour d'un aimant dont le pouvoir magnétique ait une intensité quelconque.

Que se passe-t-il alors? Faraday nous l'a appris dans une de ces belles expériences que l'on rencontre à chaque pas au milieu de ses recherches sur l'électricité. La surface de notre sphère de cuivre sera parcourue par une infinité de courants électriques, dont il sera facile de constater la présence avec un galvanomètre assez sensible et dont on pourra calculer l'intensité à l'aide des lois de l'induction si bien développées par Matteucci. Les mouvements du fluide seront semblables à ceux qu'on observe sur le disque tournant d'Arago; la force, la direction des courants, sera réglée par le pouvoir de l'aimant central, la conductibilité de la sphère de cuivre, la variation de la distance qui sépare les divers points du mobile des pôles de l'aimant inducteur.

Si nous assimilons, comme nous venons de le dire, le soleil à un aimant gigantesque, les choses auront lieu tout à fait de la même manière dans les espaces planétaires; car nous avons déjà reconnu que la Terre pouvait être considérée comme une sphère métallique d'immense dimension, tournant avec une énorme rapidité autour du Soleil.

L'aimantation solaire produira donc sur la surface de notre globe des courants électriques qui devront le parcourir dans tous les sens comme ceux qui ont été signalés par Faraday dans les expériences que nous rappelons plus haut.

Dans cette hypothèse, le mouvement annuel de la Terre, celui

du Soleil autour de son axe, la rotation diurne, seraient donc autant de causes différentes concourant à la production d'un phénomène unique, l'aimantation terrestre.

Cette nouvelle théorie nous permettrait de nous élever jusqu'à la conception d'une transformation de mouvement on ne peut plus remarquable que nous allons essayer de faire saisir au lecteur.

En vertu de la loi des aires découverte par Képler, la vitesse de circulation de la Terre dans son orbe n'est jamais constante. Cette quantité continuellement variable est assujettie à des oscillations incessantes à une espèce de flux et de reflux de force. Elle se trouve à son minimum lorsque la Terre passe au point aphélie, et à son maximum lorsqu'elle arrive au point périhélie. Le changement des deux vitesses du mobile correspondant a une différence très-notable dans le nombre de kilogrammètres qui l'animent.

Que devient donc la force qui nous abandonne lorsque nous nous éloignons du Soleil? Comment se fait-il qu'elle puisse nous revenir lorsque notre course annuelle nous rapproche du foyer du monde.

Les lois du mouvement elliptique ne nous apprennent rien à cet égard. Elles nous montrent que le mouvement se conservera indéfiniment dans un milieu dénué de résistance. Voilà tout ce qu'elles nous disent.

Les lois de l'équivalence des forces naturelles, l'impossibilité où nous sommes de détruire ou de créer le mouvement, nous apprennent de plus que ces kilogrammètres disparus n'ont pas été anéantis et qu'ils sont renfermés dans le mobile, assujettis à ces variations de vitesse.

S'y trouvent-ils à l'état latent sans qu'aucun effet extérieur vienne manifester leur présence par une modification appréciable? Certes, les philosophes qui ont révélé l'immanence des efforts ne sauraient sérieusement le soutenir après avoir démontré l'indestructibilité des forces, ils ne sauraient défaire leur propre ouvrage en supposant qu'elles peuvent être plongées dans une espèce de sommeil pour se réveiller lorsque les nécessités des mouvements célestes viendront demander leur coopération.

Que font-elles donc pendant qu'elles sont mises en réserve? Si le Soleil est un corps attirant n'agissant que par sa masse, nous ne sommes pas en état de le dire. Si le père de toute chaleur et de toute vie est doué, de plus, du pouvoir magnétique, nous

pouvons peut-être suivre *les forces motrices* qui produisent le mouvement annuel dans de mystérieuses transformations de la Terre. En acceptant cette hypothèse, nous voyons un flux et un reflux de courants électriques correspondre au reflux et au flux de la force vive qui constitue le précieux apanage de notre globe, car elle seule nous empêche d'être précipités dans la fournaise. Chaque fois que la Terre s'approchera du grand foyer planétaire, la vitesse grandira par suite d'une transformation en mouvement d'une partie des courants électriques qui traversent son enveloppe, mais l'électricité, gardienne fidèle, ne compromettra pas le salut du monde, car elle restituera sans perte aucune et sans retard le dépôt qui lui aura été confié, et l'astre soutenu par une vitesse plus grande pourra sans danger braver la croissance d'une attraction rendue plus redoutable.

Chaque fois que la Terre après avoir atteint son périhélie, commencera à s'éloigner, la force qui l'animait sera pour ainsi dire emmagasinée sous forme de courants électriques. Ces nouveaux venus, venant se joindre à ceux qui n'ont pas cessé de parcourir l'enveloppe, augmenteront le pouvoir aimantant de la sphère et les perturbations de l'aiguille permettront de mesurer l'influence de ces courants surnuméraires.

Si nous supposons que le Soleil est un aimant, la gravitation ne trône plus dans un triste isolement au sommet de l'astronomie, comme les dieux d'Épicure, trop loin du monde pour s'intéresser à ce qui s'y passe. S'appuyant sur le magnétisme, cette force mystérieuse se rapproche de nous, puisqu'elle peut se transformer en mille effets différents, et le ciel donne pour ainsi dire la main à la terre.

V

Production de l'électricité atmosphérique. — Éclairs. — Éclairs de chaleur. — Nuages lumineux.

Outre ces décharges en quelque sorte universelles, il est facile de comprendre qu'il peut en éclater beaucoup d'autres de moindre importance, mais dont la météorologie ne doit pas dédaigner de se préoccuper. Un élément aussi variable que l'électricité ne saurait s'astreindre à respecter des règles absolues et définitives.

Après avoir examiné rapidement ce que l'on peut dire du rôle

cosmique de l'électricité, nous allons descendre dans une analyse plus spéciale. Toutefois, n'oublions jamais que ces phénomènes particuliers se rapportent eux-mêmes d'une manière indirecte à l'action des causes générales.

La nature apporte à ses jeux de lumière une variété aussi infinie, inépuisable, que dans ses œuvres moins éphémères. Là encore elle ne se laissera jamais vaincre par la fécondité de l'intelligence humaine. Plus riche encore que nos physiciens, elle nous montre des gerbes lumineuses, des lueurs uniformes, des fulgurations stridentes, des scintillements de toutes nuances. Ces apparences se pressent, se suivent, se transforment avec tant de rapidité, que l'on dirait les différentes péripéties d'un rêve.

Ces trombes, ces orages, ces éclairs silencieux ne procèdent pas directement des perturbations du magnétisme solaire, car nous avons fait remarquer que les caprices du dieu qui nous éclaire ne sauraient s'étendre, sans déroger, sur de si minces objets.

Si la chaleur vient à diminuer brusquement, voilà des nuages qui se forment en mille endroits différents; c'est là que nous allons trouver les causes médiates de ces perturbations locales qui paraissent être presque toujours accompagnées de troubles électriques.

Arrêtons-nous donc un instant pour examiner les propriétés de cet admirable rideau de vapeurs.

M. Glaisher, l'aéronaute de l'Association britannique, a bravement porté le thermomètre au milieu de ces couches capricieuses dont les poëtes admireront les contours tant que les hommes conserveront l'amour de la nature.

La formation de cette rosée céleste déposée par le souffle d'un vent froid est accompagnée d'un dégagement sensible de chaleur, car la colonne thermométrique s'est brusquement relevée au moment où l'aérostat du physicien a pénétré dans ces masses vésiculaires. Mais tous les changements d'état des corps qui sont accompagnés d'un dégagement de chaleur développent en même temps une certaine quantité d'électricité libre, susceptible de produire des effets extérieurs ou de s'écouler obscurément dans le réservoir commun ; de donner naissance à une tension progressive ou d'alimenter un flux régulier comme celui qui émane de l'oxydation d'un métal dans la pile de Volta.

Il ne saurait en être autrement dans le cas de la formation des

nuages, c'est-à-dire du passage à l'état vésiculaire de l'eau dissimulée sous forme de gaz invisible et transparent.

Si vous conservez le moindre doute, regardez le ciel lorsqu'un orage se prépare et vous n'aurez pas besoin de plus ample démonstration...

Voyez-vous cette nuée qui porte la foudre dans son sein? Elle ne vient pas d'un royaume inconnu, elle se forme sur place; les vapeurs noirâtres se condensent, se précipitent sous vos yeux. Vous voyez le véhicule de l'électricité naître... N'est-ce point aussi la naissance de l'électricité à laquelle vous assistez?

N'est-ce pas l'accumulation croissante du fluide qui produit ce mouvement, ce frémissement, ce tourbillonnement? Est-ce que chacun de ces petits nuages noirâtres, aux flancs tournants, n'est pas complice de l'événement qui se prépare? Ne les voyez-vous pas qui vont, qui viennent, qui s'approchent, qui s'éloignent et qui finissent par se fondre en une strate sombre de teinte uniforme, noirâtre, manteau qu'un refroidissement subit a jeté sur les splendeurs d'un ciel d'été. Humboldt et tous les météorologistes après lui n'ont-ils pas signalé ces nuages parasites qui s'attachent opiniâtrément aux flancs des montagnes? Les attractions sur les pointes rocheuses sont si intenses que les vents ne peuvent en triompher. La charge électrique peut atteindre un tel degré de surexcitation que des éclairs viennent souvent les sillonner. Boussingault a vu la foudre éclater bien souvent dans les nuées qu'il avait traversées pour s'élever sur les hauts pics des Andes.

Le fluide mystérieux, la matière de la foudre se trouve non-seulement dans les nuées, comme mille physiciens l'ont constaté, mais dans le produit de leur condensation, ce qui n'est pas moins important à étudier, mais ce qui est beaucoup moins connu.

Le P. Secchi a démontré que l'eau de pluie est fortement électrisée. Arago (tome IV, éd. Barral, *Notice sur le tonnerre*) cite des cas dans lesquels l'électrisation peut aller assez loin pour que la chute de l'eau atmosphérique ait été accompagnée d'une émission de lumière sensible.

Ce n'est pas tout, et dans une foule de cas différents on a reconnu que le fait même de la condensation de la vapeur doit être considéré comme une source d'électricité aussi active que l'évaporation.

Buff a recueilli directement une tension électrique très-sensible,

en amenant un morceau de platine en contact avec de la vapeur d'eau qui sortait du col d'une cornue. Il avait mis ce corps conducteur en contact avec un des deux plateaux du condensateur, pendant que l'autre communiquait avec l'eau renfermée dans la cornue. Dès que les bulles de vapeur touchent le platine, les pailles se mettent à diverger.

La production d'électricité de tension sortant du conducteur de la machine d'Armstrong peut être attribuée à la condensation d'une certaine quantité de vapeur d'eau au contact de ce corps, et non pas, comme on l'admet, au frottement mécanique des particules d'eau entraînées par la projection de vapeur.

Si nous considérons la formation des nuages comme une source directe d'électricité, nous expliquons immédiatement une foule de phénomènes météorologiques.

On sait que l'air humide est conducteur de l'électricité, tandis que l'air sec peut être considéré comme un corps isolant. Si donc un nuage se forme au-dessus de colonnes d'air voisines de l'état de saturation, l'électricité *fabriquée* dans les régions supérieures s'écoulera lentement vers le réservoir commun. Les habitants de la Terre constateront des signes nombreux d'électricité libre, mais l'éclat du tonnerre ne viendra pas généralement les réveiller.

Supposons, au contraire, que la formation des nuages ait lieu au-dessus d'un air sec, la grande machine électrique sera isolée du réservoir commun. La tension ira en s'accumulant comme sur le conducteur d'une machine électrique, lorsque l'on tourne constamment la roue de verre : au bout d'un certain temps viendra la déflagration.

En hiver, les couches inférieures sont humides, les machines électriques de nos laboratoires marchent mal ; celle de la nature n'est pas mieux favorisée : tout s'écoule dans le réservoir commun sans bruit, sans danger, mais aussi sans éclat ; seul l'électromètre donne des signes notables d'électricité libre. Au contraire, en été, l'air inférieur sera beaucoup plus isolant ; la grande machine électrique qui fonctionne au-dessus de nos têtes agira d'une manière beaucoup plus terrible. Lorsqu'un courant froid précipitera brusquement, sous forme de nuées, la quantité de vapeur d'eau qui, dissimulée, ne ternissait pas l'éclat du ciel, les nuages naîtront chargés d'électricité. Mais les couches inférieures n'ayant pu se refroidir, continueront à rester isolantes. L'électri-

cité continuera à s'accumuler à mesure que la rosée céleste se déposera sur les plaines de l'air. Lorsque la tension sera suffisante, la foudre éclatera avec son cortége ordinaire d'éclat, de bruit, de désastres.

Quelquefois la déflagration sera si énergique que les nuées elles-mêmes sembleront entraînées par le feu du ciel. C'est alors qu'on verra les éclairs en boule et autres phénomènes fulminants. Souvent la décharge aura lieu de nuage à nuage ; les choses se passeront entre les habitants du ciel, c'est-à-dire sans bruit et sans éclat : on verra apparaître les *éclairs de chaleur*, ces lumières inoffensives qui viennent si souvent nous distraire pendant les soirées brûlantes de l'été.

VI

Les aurores boréales dans le système planétaire.

Peut-être la théorie que nous venons de développer pour expliquer la nature des aurores boréales fournirait-elle un moyen de comprendre la production de la lumière rayonnée par le Soleil. En effet, ce que nous observons à la surface du sphéroïde terrestre nous permet de constater que les orages magnétiques du globe sont accompagnés d'une production de lumière proportionnée à leur intensité. Pourquoi en serait-il autrement à la surface du Soleil, si, comme tout porte à le croire, cet astre est le siége de courants électriques infiniment plus intenses, et par conséquent infiniment plus lumineux? Pourquoi l'éclat de la photosphère ne tiendrait-il pas à la décharge constante des courants auxquels l'astre devrait son aimantation?

Si nous admettons cette manière de voir, les aurores polaires se trouvent élevées à la dignité d'un véritable phénomène cosmique, et cette conception nous permet de nous rendre compte de ce qui doit se passer à la surface des divers astres considérés comme autant de solénoïdes animés par l'aimant solaire et réagissant les uns sur les autres en vertu des lois de Faraday.

Toutes les causes qui augmenteraient ou diminueraient les décharges de l'atmosphère du Soleil produiraient des accès ou des défaillances correspondantes dans la puissance magnétique des différentes sphères qui parcourent de paisibles orbites au milieu des plages éthérées.

On comprendrait alors pourquoi les astronomes ont cru apercevoir des aurores boréales sillonner la partie obscure du disque de Vénus. On ne serait plus si profondément étonné de voir des fulgurations mystérieuses sillonner de temps en temps la face obscure de la Lune pendant la durée des éclipses de Soleil.

Chaque fois que l'on remonte vers le centre de notre système planétaire, on découvre des idées nouvelles et vivifiantes. C'est dans l'étude des propriétés physiques de ce corps céleste qui nous distribue si généreusement tous les éléments de notre existence que se trouvent sans doute la clef de bien des énigmes.

La science contemporaine semble marcher sur les traces des sages, qui voyaient dans le foyer du monde la source non-seulement de toute lumière et de toute chaleur, mais encore de toute vie et de toute intelligence.

Certes nous n'avons point à craindre que notre raison moderne tombe dans le travers de cette théologie naïve, car nous savons très-bien que les propriétés si admirables de ce globe doivent être entretenues par des lois qu'il ne nous est pas possible de deviner, et qui nous seront peut-être éternellement cachées.

Du moment qu'il sera démontré que le Soleil doit être considéré comme un aimant, l'esprit humain cherchera la cause probable de cette aimantation, et nous trouverons l'infini dans cet ordre d'idées comme dans tous les autres.

Mais nous ne pouvions nous empêcher de faire remarquer combien l'importance de l'étude des propriétés physiques du Soleil a grandi dans ces dernières années.

N'est-il pas, du reste, naturel que l'homme cherche à pénétrer la nature de l'astre qui fut en quelque sorte notre première patrie. En effet, la raison nous permet de remonter jusqu'à l'époque infiniment éloignée où tous les éléments du globe faisaient partie d'une immense nébulosité dont le centre est encore lumineux. Est-ce que le berceau du globe deviendra un jour son tombeau, de sorte que le monde sera renouvelé par le feu, comme le voulaient les pythagoriciens? — Nul ne le sait; mais, ce que chacun peut voir, c'est que, si nous vivons en dehors du Soleil, nous ne vivons pour ainsi dire que par lui, et que notre modeste globe est pour ainsi dire rempli de sa gloire.

W. DE FONVIELLE.

PHYSIOLOGIE

I

LA CHALEUR ANIMALE

A PROPOS DES TRAVAUX SUR L'ÉQUIVALENCE DE LA CHALEUR ET DU TRAVAIL MÉCANIQUE [1].

Parmi les phénomènes qui préoccupent aujourd'hui les savants, se place au premier rang la transformation de la chaleur en travail mécanique ; chacun commence à se familiariser avec l'idée qu'il existe un principe unique, une cause première dont les effets seuls nous sont sensibles et se manifestent à nous sous forme de chaleur, de travail mécanique, d'électricité, de lumière ou de force chimique.

Ces considérations éclairent d'un jour nouveau l'organisation animale, et permettent d'établir entre les phénomènes chimiques de la respiration, la chaleur animale et le mouvement, des relations encore peu connues, qu'il nous a paru intéressant de présenter au public.

I

De la chaleur animale. — Température moyenne des animaux des diverses classes. — Température minima et maxima qu'ils peuvent supporter. — Causes de refroidissement.

Si nous touchons de la main un mammifère ou un reptile, nous éprouvons une sensation bien différente. La chaleur de l'un

[1] Verdet, *Leçons sur la théorie mécanique de la chaleur*. — Longet, *Traité de Physiologie*. — Gavarret, *de la chaleur des êtres vivants*. — Béclard, *de la Contraction musculaire dans ses rapports avec la température animale. Archives générales de Médecine*, 1861, 5e série, tome XVII.

nous agrée, le froid de l'autre nous surprend et nous répugne. Nous reconnaissons à cette basse température un organisme différent du nôtre ; et la sensation de froid que cause un serpent est pour beaucoup, sans doute, dans l'horreur qu'il inspire.

Du premier coup, nous traçons donc au milieu du règne animal une grande séparation ; d'un côté, nous plaçons les animaux à sang chaud, producteurs de chaleur ; de l'autre, les animaux à sang froid, ne produisant pas de chaleur sensible.

Les naturalistes ne se sont pas contentés longtemps des appréciations grossières qui permettent d'établir rapidement cette première division ; bientôt ils ont voulu, à l'aide d'appareils précis, déterminer quelle était la température propre des animaux appartenant aux divers groupes zoologiques.

La classe des oiseaux est celle qui présente la plus haute température ; elle varie, d'après de nombreuses observations, de 37°,8 constatés sur un goëland, jusqu'à près de 44°, qu'ont offerts deux poules et un canard ; en prenant une moyenne, sans tenir compte de l'espèce, de l'âge, du climat ou de la saison dans laquelle a été faite l'observation, on arrive au chiffre de 41°,65.

L'homme et les autres mammifères ont été l'objet d'un grand nombre d'expériences ; les thermomètres placés sous la langue ou sous l'aisselle ont marqué de 36°,5 à 37°,5.

Quelles que soient les températures extérieures, les animaux de ces deux classes doivent se maintenir toujours à ce même degré de chaleur ; un refroidissement de quelques degrés au-dessous de la température normale, un échauffement un peu considérable, suffisent également pour amener la mort ; aussi la nature leur a-t-elle donné les moyens de braver les températures extrêmes, en les douant d'organes producteurs de chaleur, d'une part ; en les imprégnant, d'autre part, d'un liquide qui, par sa vaporisation, est une puissante cause de refroidissement. La respiration s'activant sous l'influence du froid, la transpiration devenant plus abondante quand s'élève la température extérieure, la chaleur propre de ces animaux reste sensiblement constante ; aussi quelques-uns d'entre eux peuvent-ils habiter tous les climats différents qu'on rencontre sur le globe. Si on ne tenait compte que des différences naturelles, on verrait que l'espèce humaine résiste à des températures éloignées de 104° les unes des autres. C'est ainsi que le capitaine Back, traversant l'Amérique du Nord pour aller

retrouver le capitaine Ross hivernant dans les régions polaires, a vu la température baisser à — 56°,7, tandis que Buckardt a noté, dans la haute Égypte, +47°,4; mais, en tenant compte des chaleurs artificielles, cet espace se trouve encore augmenté et mesure près de 170°.

Il a été possible, en effet, à Berger de s'exposer pendant sept minutes à une température de 109°, sans éprouver d'autres souffrances qu'un assez vif sentiment de brûlure aux mamelons, aux narines, et même dans tout le visage; il était entièrement nu, et perdit 220 grammes d'eau pendant ce court intervalle de temps; cette eau, en s'évaporant, ramena sa température dans les limites normales, car sa chaleur n'était que de 40° quand il mit fin à l'expérience. Lorsque l'atmosphère est saturée de vapeur, le refroidissement par évaporation ne peut plus avoir lieu, et il est impossible alors de supporter une température supérieure à 53°,75.

Au reste, les expérimentateurs couverts de vêtements sont capables de braver des températures plus élevées que ceux qui sont complétement nus, et c'est grâce à l'influence préservatrice des étoffes qu'on a vu des jeunes filles supporter des températures de 120 et 140°[1], en entrant dans un four pour y déposer des aliments crus et les faire cuire à la température à laquelle elles pouvaient s'exposer. Les baladins savent aussi qu'on peut braver pendant quelques instants de fortes chaleurs, et il n'est pas rare de les voir pénétrer dans des fours fortement chauffés; ils en sortent, au reste, rapidement par une ouverture masquée au public.

La puissance réfrigérante de l'évaporation est telle qu'il est possible de passer la main dans un jet de fonte sortant du haut fourneau, de tremper le doigt dans un métal bien fondu, sans être blessé; il faut toutefois que le métal soit à une température assez élevée pour être très-fluide; s'il est près de son point de solidification, l'expérience peut être fort dangereuse. Un témoin oculaire m'a raconté qu'un ouvrier bravache, employé dans une fonderie de caractères d'imprimerie, avait l'habitude, en entrant dans les ateliers, de tremper son doigt dans les creusets renfermant les alliages fondus; il répéta longtemps l'opération sans inconvénient; mais, un jour que les creusets étaient moins chauffés, il ramena

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1764.

au bout de son doigt un dé de métal solidifié, et fut cruellement brûlé.

Soumis à l'action du froid le plus vif, l'homme maintient encore sa température à 36 ou 37°. Quand elle descend vers 29°, les plus graves accidents sont déjà à craindre ; cet abaissement de température, très-lent chez les adultes, est beaucoup plus rapide chez les jeunes enfants ; aussi faut-il les soustraire à toutes les causes de refroidissement avec le plus grand soin. Dans une expérience faite par Currie, un homme put rester pendant trente-cinq minutes dans un bain à la température de 4°,4 ; au moment où il y entra, sa température était de 34° ; au moment où il en sortit, avec un violent frisson, elle n'était plus que de 29°,44.

Un mammifère, dépouillé de sa fourrure et exposé à l'action d'un mélange réfrigérant, mourut quand sa température baissa de 38° à 20°.

Ainsi la conservation de la chaleur est, pour les espèces supérieures, mammifères et oiseaux, une question de vie ou de mort ; s'ils se refroidissent, l'activité respiratoire diminue, ils tombent dans un sommeil qui ne tarde pas à devenir éternel. Et cependant les froids rigoureux qui sévissent dans les régions polaires ne sont mortels ni à l'homme, ni au chien, ni au renne, ni à l'ours, ni à nombre d'oiseaux. Il faut donc que ces animaux, non-seulement produisent constamment de la chaleur, mais encore qu'ils puissent en empêcher la déperdition ; les vêtements des hommes, les fourrures des quadrupèdes, les plumes des oiseaux, matières peu conductrices de la chaleur, retardent déjà le refroidissement ; les abris qui préservent les êtres vivants de l'évaporation qu'amène le vent, sont aussi nécessaires pour braver les basses températures ; les hardis navigateurs qui ont hiverné dans les mers polaires se sont construit, à l'exemple des Esquimaux, des huttes de neige dans lesquelles ils ont passé la saison la plus rigoureuse. Les animaux sauvages cherchent aussi à se soustraire au refroidissement qui se produit à l'air libre : l'ours s'enfonce dans les cavernes, le renard dans son terrier, le lièvre se blottit à l'angle du sillon : rasé contre terre, il est à l'abri des atteintes du vent.

Les mammifères et les oiseaux seuls se maintiennent à une température constante ; presque tous les animaux appartenant aux autres groupes zoologiques ne produisent que des quantités de chaleur extrêmement faibles et partagent, en général, la tempé-

rature du milieu ambiant. Hunter observa une température de 9° en introduisant un thermomètre dans la bouche d'une grenouille; l'air ambiant était à 7°; après vingt minutes de séjour dans une enceinte échauffée, la température de l'animal avait atteint 17°,78. Une autre grenouille, chez laquelle l'instrument indiquait 6°,67, fut plongée dans un mélange réfrigérant à — 12°,22 ; la température de l'estomac descendit et resta stationnaire à — 0°,56. L'animal était alors en état de mort apparente, mais il revint à la vie quand il fut soustrait à l'action de ce froid rigoureux. Une vipère dont la bouche était à 20° descendit rapidement à la température de — 0°,56, après avoir été placée dans un mélange réfrigérant à — 12°. Il semble cependant que les poissons ne soient pas tout à fait privés de la faculté d'émettre de la chaleur ; car une carpe, ayant été placée dans de la glace fondante épaissie par de la neige, fondit toujours le mélange qui l'entourait ; après une longue série de recherches, Dutrochet reconnut que les poissons possèdent une chaleur propre, mais qu'elle est trop faible pour pouvoir être mise en évidence par nos moyens habituels d'investigation.

Dans certaines circonstances, cependant, on peut observer une émission de chaleur chez les insectes ou les reptiles. M. Regnault a vu un thermomètre monter de 2° dans un sac rempli de hannetons, et Huber ayant fait pénétrer dans une ruche un gaz asphyxiant, constata que « la ruche se refroidit tout d'un coup, et que du terme de 35° la température descendit au niveau de l'air ambiant. »

M. Valenciennes, confirmant un fait annoncé dès 1832 par M. Lamarre-Picquot put constater une production de chaleur assez forte chez un serpent python femelle, immobile pendant plusieurs mois au-dessus de ses œufs ; sa température a été de 17° à 11° supérieure à celle du milieu ambiant, et elle est tout à coup retombée presque à cette température, quand les jeunes animaux sont sortis des œufs.

Malgré ces exceptions peu nombreuses, les animaux inférieurs sont habituellement à la température du milieu où ils vivent ; ils s'échauffent et se refroidissent avec celui-ci, et ont reçu le nom d'animaux à températures variables, par opposition aux mammifères et aux oiseaux, désignés sous le nom d'animaux à température constante.

II

Des causes de la chaleur animale. — Phénomènes chimiques de la respiration. — Admirables travaux de Lavoisier. — Expériences de Dulong, de Despretz, de MM. Regnault et Reiset.

Tant que les phénomènes de la respiration furent mal étudiés, la cause de la chaleur animale dut rester inconnue; les progrès de cette belle question physiologique étaient absolument liés à ceux de la chimie; aussi les premières notions sérieuses que nous avons sur la respiration datent-elles du dix-septième siècle et sont-elles ainsi contemporaines de la renaissance des sciences d'observation.

Le chimiste irlandais Robert Boyle [1] montra le premier que l'air est vicié par la respiration, et qu'une atmosphère dans laquelle un animal a longtemps vécu lui devient mortelle.

Si Mayow [2], qui eut des connaissances si approfondies sur la composition de l'air et sur les propriétés de *l'esprit aérien du nitre*, eût vécu, il eût sans doute fait avancer rapidement la chimie physiologique; mais il meurt à trente-quatre ans, et. les études restent stationnaires jusqu'à Black, qui, en 1757, reconnut dans l'air expulsé des poumons la présence de l'air fixe, distingué déjà depuis longtemps par Van Helmont de l'air atmosphérique, et désigné sous le nom d'air sylvestre. L'expérience de Black est restée célèbre; c'est lui qui nous a enseigné à souffler à l'aide d'un tube dans un vase rempli d'eau de chaux, pour montrer, par le trouble qui s'y manifeste, que le gaz expulsé des poumons est le même que celui qui se dégage des fermentations ou des combustions de matières carbonées.

Dès lors la question avance rapidement vers la solution; Priestley commence, en 1772, la publication de ses nombreuses expériences sur les gaz; il reconnaît que la combustion vicie l'air, que la respiration le vicie également. Bientôt il annonce une admirable découverte : les animaux et les végétaux exercent sur l'air atmosphérique des actions précisément inverses, l'air phlogistiqué par les uns est déphlogistiqué, ramené à sa pureté primitive, par les autres.

[1] *Philosophical transactions*, 1670.

[2] Voir dans l'*Annuaire scientifique*, 1re année. — *Deux chimistes oubliés*.

En 1774, Priestley obtint enfin à l'état de pureté l'air déphlogistiqué, l'air vital, en calcinant le mercure précipité *per se*, et, en 1776, il publie ses remarquables expériences sur la respiration et les usages du sang[1], où il démontre que l'air commun et l'air déphlogistiqué sont seuls capables de communiquer au sang veineux la belle couleur rouge du sang artériel; il remarqua même que cette réaction peut s'opérer à travers une membrane humide comme au contact direct de l'air; il vit enfin qu'en mettant du sang rouge ou artériel en contact avec de l'air fixe, de l'air inflammable ou de l'air phlogistiqué (acide carbonique, hydrogène ou azote), il prend la couleur rouge brun du sang veineux.

Habile à découvrir les faits, le chimiste anglais l'était beaucoup moins à les réunir et à les discuter pour en tirer des conséquences, et bien qu'il ait fourni à la solution définitive de précieux matériaux, elle finit par lui échapper. A cela plusieurs causes : d'abord, s'il vit que la calcination des métaux comme la respiration des animaux vicie l'air, il n'alla pas plus loin et attribua à tort ces deux effets identiques à une cause semblable. Enfin la constance avec laquelle il continua d'admettre la théorie du phlogistique le rendit incapable de saisir la liaison qui existe entre tous les faits que son esprit sagace et ingénieux avait mis en lumière; cette gloire était réservé à Lavoisier.

Ce qui frappe d'abord dans la série d'admirables travaux que publia Lavoisier sur la respiration et les causes de la chaleur animale, c'est sa lumineuse méthode d'expérimentation. Priestley, négligeant les expériences de Black, qui montraient, ainsi que nous venons de le voir, que les gaz émis par l'acte respiratoire renferment de l'air fixe, Priestley, disons-nous, annonce que l'air est phlogistiqué par la calcination comme par la respiration. Lavoisier ne discute pas, il laisse aux faits la parole. Il imagine une première expérience[2]. — Du mercure est placé dans un matras dont le col recourbé débouche sous une cloche; pendant douze jours, le métal est maintenu à l'ébullition; le feu éteint, l'appareil se refroidit, l'air est diminué d'un sixième environ, il est devenu

[1] *Philosophical transactions*. 1776, page 226.

[2] Voy. *La Composition de l'atmosphère*, dans l'*Annuaire scientifique*, 2e année.

tout à fait nuisible. — Dans une petite cloche de trente pouces de capacité est placé d'autre part un oiseau ; il y vit cinquante-cinq minutes, puis meurt ; l'air est encore complétement nuisible ; toutefois son volume n'a diminué que d'un soixantième au plus.

« Un examen plus approfondi, dit Lavoisier, m'a fait apercevoir deux différences très-remarquables entre ces deux airs, je veux dire entre celui qui avait servi à la calcination du mercure et celui qui avait servi à la respiration du moineau franc : premièrement, la diminution de volume avait été beaucoup moindre dans ce dernier que dans le premier ; secondement, l'air de la respiration précipitait l'eau de chaux, tandis que l'air de la calcination n'y occasionnait aucune altération. »

Quand enfin Lavoisier introduit de l'alcali fixe (potasse) dans l'air de la respiration, il voit cet alcali perdre sa causticité et cristalliser comme lorsqu'on le met avec l'acide crayeux ; l'air restant après cette opération est identique à l'air de la calcination.

Aussi formule-t-il ainsi ses conclusions : « Il résulte de ces expériences que pour ramener à l'état d'air commun et respirable l'air qui a été vicié par la respiration, il faut opérer deux effets : 1° enlever à cet air, par la chaux ou par un alcali caustique, la portion d'acide crayeux aériforme qu'il contient ; 2° lui rendre une quantité d'air éminemment respirable ou déphlogistiqué (oxygène) égale à celle qu'il a perdue. La respiration, par une suite nécessaire, opère l'inverse de ces deux effets, et je me trouve, à cet égard, conduit à deux conséquences également probables, entre lesquelles l'expérience ne m'a pas mis encore en état de prononcer...

« D'après ce qu'on vient de voir, on peut conclure qu'il arrive de deux choses l'une, par l'effet de la respiration : ou la portion d'air éminemment respirable (oxygène) contenue dans l'air de l'atmosphère est convertie en acide crayeux aériforme (acide carbonique) en passant par le poumon ; ou bien il se fait un échange dans ce viscère : d'une part, l'air éminemment respirable (oxygène) est absorbé, et de l'autre, le poumon restitue à sa place une portion d'acide crayeux aériforme (acide carbonique) presque égale en volume. »

On le sent, Lavoisier est là sur la solution, et il ne va rien négliger pour la rendre complète. Puisque les animaux produisent de l'acide carbonique, puisqu'ils absorbent de l'oxygène, ils peuvent être comparés à un appareil à combustion, à un foyer dans

lequel brûle du charbon, qui, de la même façon, absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique. Mais toutes les fois que le charbon brûle, il dégage de la chaleur ; la cause de la chaleur animale est donc due peut-être à cette combustion du carbone s'effectuant dans l'appareil respiratoire, comme la cause de la chaleur qui rayonne d'un foyer tire sa source de la combinaison du charbon avec l'oxygène de l'air. Lavoisier vit-il ainsi du premier coup le chemin à parcourir? On le croirait, tant est sûre la direction qu'il imprime à ses travaux.

En 1780, associé à Laplace, nous le voyons d'abord imaginant un appareil propre à mesurer les dégagements de chaleur[1]. On connaît ce calorimètre resté classique : trois boîtes cylindriques en fer-blanc sont placées les unes dans les autres ; la boîte intérieure est vide, elle pourra recevoir les corps chauds dont on voudra mesurer le refroidissement, ou encore l'animal producteur de chaleur ; la boîte intermédiaire et la boîte extérieure renferment de la glace fondante. Lavoisier et Laplace opéraient en hiver ; cependant, si la température extérieure était plus élevée que 0, on comprend que la glace de la boîte intermédiaire fût protégée contre cette élévation de température par la glace du récipient extérieur, de telle sorte qu'on pouvait être certain que la seule cause de fusion de la glace de la cavité intermédiaire était la chaleur dégagée par le corps chaud placé dans la boîte vide.

Chacun saisit immédiatement le mode d'opérer : on recueille l'eau provenant de la fusion de la glace de la cavité intermédiaire; il est clair que la quantité de glace fondue sera d'autant plus considérable que le corps placé dans la cavité intérieure aura dégagé plus de chaleur.

Les deux expérimentateurs mesurent ainsi d'abord la quantité de glace fondue par la chaleur que dégage en brûlant 1 once de charbon ; puis la quantité de glace que fond un cochon d'Inde, qui respire dans l'appareil pendant un certain temps. Après un séjour de dix heures consécutives dans ce milieu froid, cet animal avait, par sa seule présence, et en vertu de la chaleur issue de son corps, fondu 402^{gr},27 de glace. Mais, durant ce séjour prolongé au sein de cette atmosphère à 0°, le cochon d'Inde ne s'était pas maintenu à sa température initiale ; il s'était refroidi.

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences.* 1780, page 107.

De plus, les exhalaisons de son corps s'étaient refroidies également ; de façon qu'il fallait corriger le nombre trouvé de ces deux influences perturbatrices. Lavoisier crut pouvoir évaluer à 61^{gr},19 de glace fondue les effets représentatifs de cette double cause, ce qui réduisait à 341^{gr},08 le chiffre correspondant à la chaleur produite par l'animal pour se maintenir, pendant toute la durée de l'expérience, à sa température normale.

Voilà donc déjà deux données importantes : nous connaissons le poids de glace que fond le charbon en brûlant ; celui que fond l'animal en respirant. Il faut aller plus loin : pour rapprocher ces deux nombres, il est nécessaire de connaître quelle est la quantité de charbon qu'a brûlée le cochon d'Inde pendant le temps qu'il a respiré dans l'appareil ; il faut encore calculer le poids de glace qu'aurait fondu cette quantité de charbon, et voir enfin s'il y a égalité entre la glace fondue par l'animal et celle qui l'aurait été par la combustion du charbon qu'il a brûlé pendant la respiration, si, par conséquent, on peut trouver dans la combustion lente du charbon dans l'organisme la cause de la chaleur animale.

La constitution de l'acide crayeux, notre acide carbonique, qui se produit par la respiration, ayant été déterminée par une expérience préalable, qui indiquait le volume d'air pur, d'oxygène, nécessaire pour brûler un certain poids de charbon, Lavoisier observe la quantité d'acide carbonique que produit l'animal en un temps donné. Le cobaye est placé sous une cloche retournée sur le mercure, et on l'y fait respirer en entretenant constamment un courant d'air, qui entraîne dans des flacons renfermant de l'alcali fixe le gaz crayeux produit par la respiration. L'augmentation de poids de ces flacons, dans lesquels s'est condensé l'acide carbonique, indique le poids de l'acide formé, et, par suite, le poids de charbon que l'animal a brûlé par sa respiration pendant la durée de l'expérience.

Ces différentes quantités, enfin, sont rapprochées, et, bien que l'égalité ne soit pas parfaite, Lavoisier peut conclure :

« La respiration est une combustion, à la vérité fort lente, mais d'ailleurs parfaitement semblable à celle du charbon ; elle se fait dans l'intérieur du poumon [1], sans dégager de lumière sensible,

[1] On sait que plusieurs physiologistes, et notamment W. Edwards, ont montré que la combustion du charbon par l'oxygène de l'air n'a pas lieu dans le

parce que la matière du feu, devenue libre, est aussitôt absorbée par l'humidité de ces organes : la chaleur développée dans cette combustion se communique au sang qui traverse les poumons, et de là se répand dans tout le système animal. »

Et plus loin : « Au reste, quelle que soit la manière dont la chaleur animale se répare, celle que dégage la formation de l'air fixe en est la cause première ; ainsi nous pouvons établir la proposition suivante :

« Lorsque les circonstances dans lesquelles un animal se trouve n'altèrent pas sensiblement son sang et ses humeurs, de sorte qu'après plusieurs heures le système animal n'éprouve point de variation sensible, la conservation de la chaleur animale est due, au moins en grande partie, à la chaleur que produit la combinaison de l'air pur respiré par les animaux, avec la base de l'air fixe que le sang lui fournit. »

Si clair, si net que soit ce premier aperçu, il ne contenta pas Lavoisier. Il est facile de voir, en effet, que, malgré la rigueur qu'il a apportée à ses expériences, il est un point qui prête visiblement à l'erreur. Nous avons vu, dans les pages précédentes, que sur 402^{gr},27 de glace fondus pendant son expérience, il a admis que 61^{gr},19 étaient dus au refroidissement qu'avait subi l'animal, et à l'abaissement à 0° de toutes les exhalaisons de son corps pendant les dix heures de l'expérience. On comprend aisément que ce départ entre la quantité de glace fondue par la chaleur produite par l'animal, et celle qui est due à son refroidissement, ainsi qu'à celui des matières expulsées, soit fort difficile à faire. Enfin, au moment où Lavoisier formulait les conclusions précédentes, on ne connaissait pas encore la composition de l'eau; on ne savait pas encore que, pendant l'acte de la respiration, il y a production non-seulement d'acide carbonique, mais encore de vapeur d'eau, par suite de la combustion de l'hydrogène contenu dans les matières hydro-carbonées de l'économie.

Toutefois, cette nouvelle source de chaleur ne devait pas échapper longtemps à Lavoisier ; aussi, plus tard, il ajoute : « Indépendamment de la portion d'air vital qui a été convertie en air

poumon, mais bien dans tout l'organisme; dans le poumon il y a seulement échange entre l'acide carbonique qu'amène le sang veineux et l'oxygène qui pénètre et se dissout dans le sang artériel,

fixe, une portion de celui qui est entré dans le poumon n'en est pas ressortie dans l'état élastique, et il en résulte qu'il se passe de deux choses l'une pendant l'acte de la respiration : ou qu'une portion d'air vital s'unit avec le sang, ou bien qu'elle se combine avec une portion d'air inflammable pour former de l'eau. » Enfin, en 1789, revenant encore sur le même sujet, il résumait toute cette grande théorie de la chaleur animale, une de ses plus admirables découvertes, en termes dignes d'elle, dans les lignes suivantes : « La respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène, qui est semblable en tout à celle qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie allumée, et sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consomment.

« Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique ; mais comme, dans la respiration, c'est la substance de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible ; si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture.

« Les preuves de cette identité d'effet entre la respiration et les combustions se déduisent immédiatement de l'expérience. En effet, l'air qui a servi à la respiration ne contient plus, à la sortie du poumon, la même quantité d'oxygène ; il contient non-seulement du gaz acide carbonique, mais encore beaucoup plus d'eau qu'il n'en contenait avant l'inspiration. Or, comme l'air vital ne peut se convertir en gaz acide carbonique que par une addition de carbone ; qu'il ne peut se convertir en eau que par une addition d'hydrogène ; que cette double combinaison ne peut s'opérer sans que l'air vital perde une partie de son calorique spécifique, il en résulte que l'effet de la respiration est d'extraire du sang une portion de carbone et d'hydrogène, et d'y déposer à la place une portion de son calorique spécifique, qui, pendant la circulation, se distribue avec le sang dans toutes les parties de l'économie animale, et y entretient cette température à peu près constante que l'on observe dans tous les animaux qui respirent. »

La question, on le voit, est largement ébauchée. Lavoisier n'hésite pas ; du premier coup il trouve la cause de la chaleur animale. La découverte est capitale ; mais, tout en admirant com-

ment procède le génie, tout en restant frappé d'étonnement qu'on trouve si juste avec un si petit nombre d'expériences, et combien ces esprits clairs et pénétrants qui sont la gloire des sciences physiques passent aisément des effets aux causes, bientôt on veut aller plus loin. On veut arriver jusqu'aux démonstrations absolues, complètes, jusqu'aux expériences variées, comprenant tous les cas possibles, se traduisant par des chiffres qui, par leur contrôle réciproque, amènent la certitude ; aussi l'Académie des sciences, reconnaissant qu'il était utile de reprendre les grands travaux de Lavoisier, donna comme sujet du prix proposé en 1822, l'étude des sources de la chaleur animale.

Despretz[1] et Dulong concoururent.

La méthode employée par Despretz[1] est analogue à celle qu'avait imaginée Lavoisier ; elle comporte cependant plus de précision, puisque, dans la même expérience, l'animal produit la chaleur qu'il s'agit de mesurer et dégage l'acide carbonique et la vapeur d'eau dont la formation accompagne cette production de chaleur.

Dans une boîte hermétiquement fermée et immergée dans l'eau, est placé l'animal en expérience. La température de l'eau est, au commencement de l'opération, un peu inférieure à celle de l'air ambiant, et on cesse l'observation quand, par suite du dégagement de chaleur de l'animal, la température de l'eau s'est élevée à un nombre de degrés au-dessus de la température ambiante précisément égal au nombre de degrés dont elle était au-dessous, au commencement de l'expérience. Un gazomètre, dont on mesure la dépense, fournit de l'air pur à l'animal ; l'air vicié est reçu dans un second gazomètre. La différence entre la quantité d'oxygène

[1] M. Despretz est mort à Paris, le 15 mars 1863. Jusqu'à l'année 1862, il avait continué le cours de physique dont il était chargé à la Faculté des sciences. Pendant sa longue carrière, M. Despretz a étudié un grand nombre de questions importantes. Outre ses travaux sur la chaleur animale, dont nous nous occupons ici, il a déterminé avec une grande exactitude le maximum de densité de l'eau, il a étudié la conductibilité des corps solides; à l'aide d'une pile d'une excessive énergie, il a obtenu des températures très-élevées et a opéré la fusion de plusieurs corps très-réfractaires. M. Despretz, un peu sauvage d'allures, était cependant bienveillant. Les auditeurs de son cours, les gradés de Sorbonne qui l'ont eu pour juge, ont toujours eu pour lui l'estime qu'inspirent un caractère droit et honnête, une vie exclusivement consacrée à l'étude des sciences.

[1] *Annales de chimie et de physique*, 1821.

dépensée par le premier gazomètre et la quantité reçue par le second, indique l'oxygène consommé, qui s'est transformé en acide carbonique et en eau pendant l'acte respiratoire. En mettant l'air vicié en contact avec la potasse, on absorbe l'acide carbonique; on sait donc quelle est la fraction de l'oxygène disparu qui a servi à la combustion du charbon. On *admet* que l'oxygène manquant, c'est-à-dire que la différence entre l'oxygène consommé et l'oxygène contenu dans l'acide carbonique a été employée à brûler de l'hydrogène, à produire de l'eau. Despretz, ayant déterminé par des expériences préalables les quantités de chaleur dégagées par la combustion du charbon et de l'hydrogène, peut comparer, comme l'avait fait Lavoisier, la chaleur produite par l'animal à la chaleur due aux réactions chimiques de la respiration, et il trouve que la chaleur produite par la respiration n'est jamais inférieure à 0°,70, ni supérieure à 0°,90 de la chaleur produite par l'animal, celle-ci étant représentée par l'unité. Parmi les faits nouveaux signalés par Despretz se trouve surtout l'observation d'une émission constante de gaz azote pendant l'acte respiratoire.

Le mémoire de Dulong, publié après sa mort, en 1840 [1], longtemps après l'exécution des expériences, n'est pas à la hauteur des autres œuvres de cet illustre observateur, qui a doté la science de quelques-unes des plus belles lois dont elle puisse s'enorgueillir; il a cru constater pendant la respiration des émissions d'azote très-considérables; mais en les rapportant au poids de l'animal qui les avait fournies, Liebig fit remarquer, quelques années plus tard, qu'elles étaient souvent plus fortes que la quantité totale d'azote renfermée dans celui-ci.

En 1849, MM. Regnault et Reiset publièrent une série de recherches très-complètes sur la respiration des animaux. Les travaux du premier de ces savants portent tous un cachet d'exactitude admirable; ils appartiennent nettement à ce qu'on peut appeler le second âge de la science.

Au début, le chercheur a devant lui tant d'inconnues, qu'il doit aller vite; il étudie de haut les phénomènes, les voit dans leur ensemble, puis passe à d'autres études; le temps le presse, une nouvelle investigation l'appelle; il fait une trouée dans l'épaisse forêt qu'il s'agit d'explorer, il trace rapidement, largement, la

[1] *Annales de chimie et de physique*, tome I, 3e série.

voie dans laquelle il progresse ; mais il ne peut voir à tous les détails, et il laisse à ses successeurs le soin de les reprendre rigoureusement, de les étudier posément, à loisir, les uns après les autres. Personne n'a plus contribué à ce travail de révision que M. Regnault ; derrière Lavoisier, derrière Gay-Lussac, derrière Dulong et Petit, grands initiateurs, il est venu, perfectionnant, réformant, apportant à leurs recherches le degré de précision qui leur manquait, mais ne leur enlevant pas cependant, comme on l'a cru, le caractère de grandeur qu'elles avaient d'abord.

Lavoisier a trouvé la cause de la chaleur animale ; cette question éminemment délicate, obscure, sur laquelle on raisonnait depuis si longtemps, s'est éclaircie en quelques années. Il y a porté un flambeau resplendissant ; l'ensemble est connu, Dulong et Despretz venant ensuite, ajoutent quelques faits nouveaux, mais il faut apporter dans cet examen la rigueur qu'exigent les progrès de la science, et c'est là la mission que se sont donnée MM. Regnault et Reiset.

Leur appareil était construit de façon à pouvoir faire respirer les animaux en expérience pendant un temps assez long pour que les variations de la composition de l'air devinssent très-sensibles. Une grande cloche en verre, bien mastiquée et entourée d'un manchon destiné à recevoir de l'eau à une température constante, forme le centre de l'appareil. Des vases remplis d'oxygène y envoient constamment un courant de gaz qui vient remplacer l'acide carbonique produit par la respiration. Deux pipettes, oscillant verticalement au moyen d'un mouvement d'horlogerie, renferment une dissolution de potasse ; elles produisent constamment une agitation dans l'air de l'appareil, et absorbent l'acide carbonique ; une pesée au commencement de l'expérience, une pesée à la fin, indiquent la quantité de cet acide fixée par la potasse des burettes.

Bien que cet appareil ne soit pas à l'abri de toute critique, et qu'à la fin des expériences, l'atmosphère de la cloche renfermât souvent des quantités assez notables d'acide carbonique (de 2 à 3 pour 100), et qu'ainsi la respiration n'eût plus lieu dans des circonstances normales, MM. Regnault et Reiset ont pu arriver à des conclusions fort importantes sur l'activité de la respiration dans les différentes espèces animales, et dans différents états phy-

siologiques qui se trouvent liés de la manière la plus nette avec la production de la chaleur animale.

Ainsi la respiration des oiseaux est beaucoup plus active que celle des autres animaux étudiés; à poids égal et pendant le même temps, la quantité d'acide carbonique exhalée par les oiseaux a été jusqu'à sept fois plus forte que celle produite par les mammifères; il est à remarquer, au reste, que la différence est surtout sensible chez les petits animaux, qui, ayant une grande surface de refroidissement, doivent produire plus de chaleur pour se maintenir à une température constante, et doivent, par conséquent, respirer plus activement.

La respiration des vertébrés à sang chaud est notablement plus active que celle des vertébrés aériens à sang froid. On a trouvé, en général, qu'à égalité de poids et pendant le même temps, les mammifères consommaient dix fois plus d'oxygène que les reptiles.

Quelques insectes absorbent de l'oxygène avec une énergie presque égale à celle des mammifères. Au contraire, les vers de terre sur lesquels on a opéré n'ont produit qu'une quantité d'acide carbonique inférieure à celle qu'ont fournie les reptiles.

En résumé, d'après les expériences de MM. Regnault et Reiset, on trouve que, par kilogramme et par heure, il faut ainsi évaluer l'absorption d'oxygène chez les animaux suivants :

Lapin.	0gr,914
Poule	1gr,186
Moineau et verdier.	11gr,860
Grenouille.	0gr,085
Salamandre.	0gr,085
Lézard..	0gr,192
Hanneton.	1gr,019
Ver à soie.	0gr,899
Chrysalide de ver à soie.	0gr,242
Ver de terre.	0gr,013

L'exhalation de l'azote signalée par Despretz a été aussi observée par MM. Regnault et Reiset; mais elle a eu lieu dans des proportions très-variables; elle a surtout été signalée dans le cas de maladie. Les travaux très-importants publiés récemment en Allemagne par le professeur Voit sont venus toutefois combattre cette conclusion. Le physiologiste allemand a reconnu dans un grand

nombre d'expériences que la quantité d'azote contenue dans les excrétions était égale à celle que renfermaient les aliments, et que par conséquent il ne pouvait y avoir d'azote émis par la respiration.

Dans les recherches qu'ils ont entreprises sur la respiration, MM. Pettenkofer et Voit se sont placés dans des circonstances très-favorables à des observations exactes. Ils ont fait construire une chambre assez grande pour qu'il soit possible d'y séjourner plusieurs heures sans aucune gêne; elle offre une capacité de 12,7 mètres cubes; on peut y placer un lit, une table, y rester en repos ou s'y promener. — Les appareils destinés à recueillir les produits de la combustion respiratoire sont si parfaitement installés, qu'on a pu faire brûler dans cette chambre un poids déterminé d'acide stéarique bien pur et retrouver dans les appareils une quantité d'acide carbonique presque mathématiquement égale à celle qui, d'après la composition connue de la matière brûlée, a dû être produite en réalité.

MM. Pettenkofer et Voit ont observé, comme MM. Regnault et Reiset, la présence de l'hydrogène et de l'hydrogène proto-carboné dans les gaz produits par la respiration; ce gaz a été signalé notamment en quantité considérable dans des recherches entreprises, par M. Reiset seul [1], sur la respiration des animaux annexés à la ferme.

En comparant dans leurs expériences les quantités d'oxygène absorbées à celles d'acide carbonique produit, MM. Regnault et Reiset ont remarqué, comme l'avait vu Lavoisier, que la totalité de l'oxygène n'est pas employée à brûler du charbon et à produire de l'acide carbonique. Chez les mammifères, environ 0,200 ne se retrouvent pas à l'état d'acide carbonique; cette quantité descend à 0,167 chez les oiseaux, pour remonter à 0,227 chez les reptiles [2].

[1] *Comptes rendus*, tome LVI, page 740. 1863. *Ann. de chim. et de phys.* — Oct. 1863.

[2] MM. Andral et Gavarret ont plus tard repris les travaux sur la respiration. Nous regrettons de ne pouvoir les présenter avec les développements qu'ils méritent, mais la place nous fait défaut. Toutefois, nous devons signaler un fait très-important dû à ces deux observateurs : c'est que la quantité d'acide carbonique émise par la respiration est beaucoup plus forte chez l'homme que chez la femme pendant tout le temps où elle est régulièrement menstruée, la fonction utérine se trouvant ainsi complémentaire de la fonction respiratoire.

Est-il possible, avec les données actuelles, de résoudre les problèmes qu'avaient abordés avec tant d'audace Lavoisier et Laplace? MM. Regnault et Reiset ne le pensent pas, et ils considèrent comme tout à fait fortuit l'accord trouvé entre les nombres représentant la chaleur animale produite, et ceux que fournissaient la combustion du charbon retrouvé à l'état d'acide carbonique dans les produits de la respiration, et la combustion de l'hydrogène effectuée par l'oxygène absorbé et non retrouvé dans l'acide carbonique.

Il faut bien reconnaître, en effet, que la comparaison est des plus difficiles à établir ; le sang des animaux ne se charge ni de charbon, ni d'hydrogène pur ; il charrie des combinaisons carbonées et hydrogénées. Or la quantité de chaleur que dégagent en brûlant le charbon pur et le charbon combiné n'est pas la même; si je brûle un gramme de charbon pur avec de l'oxygène, j'obtiendrai un certain dégagement de chaleur ; mais si je brûle une quantité de sucre telle qu'il y ait encore dans la matière brûlée un gramme de charbon, je ne trouverai pas, en tenant compte de la chaleur due à la combustion de l'hydrogène, une quantité semblable à celle que j'ai observée dans le premier cas.

Rien ne prouve, en outre, que tout l'oxygène qui n'a pas été employé à la combustion du charbon ait exclusivement servi à la combustion de l'hydrogène ; c'est cependant là l'hypothèse qu'avaient faite Lavoisier et Laplace, et, après eux, Despretz et Dulong ; il y a élimination constante, en effet, hors de l'économie, de produits incomplétement brûlés. Leur combustion partielle est accompagnée d'une absorption d'oxygène qui ne se retrouve pas à l'état d'acide carbonique, et qui n'a pas cependant été exclusivement employé à former de l'eau.

Enfin la quantité d'acide carbonique émise ne provient pas uniquement de la combustion, à l'aide de l'air, des matières carbonées introduites dans l'économie ; ces matières peuvent se décomposer et, en se décomposant, produire de l'acide carbonique, qui n'aura pas cependant été accompagné d'un dégagement de chaleur. Dans quelques-unes des expériences de MM. Regnault et Reiset, on a trouvé une quantité d'acide carbonique plus grande que la quantité d'oxygène absorbée, ce qui prouve bien que tout l'acide carbonique ne provenait pas d'une combustion immédiate. Il est très-possible encore qu'il se produise dans l'économie de.

véritables fermentations, accompagnées d'un dégagement d'acide carbonique, sans qu'il y ait en même temps combustion de charbon. On raconte que lorsque des chameaux mangent des dattes avec excès, le sucre fermente parfois dans leur estomac, et qu'ils manifestent tous les symptômes de l'ivresse ; en même temps que de l'alcool, il s'est donc produit dans ce cas de l'acide carbonique, qu'on serait bien mal venu à compter comme ayant été accompagné d'un dégagement de chaleur égal à celui qu'aurait accompagné une quantité d'acide carbonique semblable, formé par la combustion directe du charbon.

Ainsi Lavoisier a trouvé la cause de la chaleur animale : elle est due, personne n'en doute, aux combustions qui se produisent dans l'économie, sous l'influence de l'oxygène de l'air ; mais il ne paraît pas possible de déduire directement cette chaleur de la quantité des produits brûlés exhalés par la respiration ; la question est trop complexe, pour qu'avec ces seules données elle puisse être complétement résolue.

III

Matières combustibles brûlée par la respiration. — Aliments respiratoires et aliments plastiques. — Travaux de M. Boussingault, de M. Barral, de M. Voit. — Différence que présente l'alimentation dans les pays chauds et dans les pays froids.

Les animaux des deux premiers groupes zoologiques, quelques insectes présentent une température de beaucoup supérieure à celle du milieu ambiant ; pour que cette chaleur reste constante chez les mammifères et les oiseaux, malgré les nombreuses causes de refroidissement auxquelles ils sont soumis, il faut qu'elle prenne constamment naissance par le jeu même de leurs organes; cette chaleur est due, nous l'avons montré dans les pages précédentes, à la respiration. Mais notre étude est, jusqu'à présent, incomplète, car, pour qu'il y ait production de chaleur, il faut non-seulement un corps comburant, mais aussi un corps combustible ; il est aussi impossible de produire du feu avec de l'air sans charbon, qu'avec du charbon sans air. Pour que la chaleur animale s'entretienne, pour que les êtres animés restent à une température constante, il faut non-seulement qu'ils puissent à chaque instant faire pénétrer dans leurs poumons le gaz comburant de

notre atmosphère, l'oxygène ; il faut encore que ce gaz comburant rencontre, dans le sang qui va l'absorber, des matériaux combustibles dont l'oxydation, la transformation en eau et en acide carbonique, soit accompagnée constamment d'un dégagement de chaleur.

L'expérience a démontré depuis longtemps que la chaleur animale est ainsi intimement liée à la nutrition ; quand l'animal est privé de nourriture, il se refroidit, l'activité de sa respiration diminue, et il finit par mourir.

Nous sommes donc conduit, en continuant nos études sur la chaleur animale, à nous occuper brièvement de la nutrition. Nous pourrions être fort embarrassé de choisir pour sujet de nos études, parmi les substances variées qui peuvent servir d'aliments, si nous ne réfléchissions que, dans le jeune âge, l'animal croît et se développe en consommant exclusivement du lait, que nous pouvons dès lors considérer comme une sorte d'aliment type, capable de fournir à tous les besoins de la vie. Or la chimie ne tarda pas à distinguer dans le lait plusieurs matières différentes que la pratique avait su, au reste, depuis longtemps séparer les uns des autres.

On sait que, lorsque le lait est abandonné à lui-même, une matière légère, la crème, riche en principes gras, vient se réunir à la surface ; abandonné à l'action de l'air, le lait écrémé s'aigrit : une matière blanche, solide, s'en sépare : c'est le caséum, qui entre pour la plus forte part dans le fromage ; enfin le liquide que laisse égoutter le fromage renferme en dissolution une matière sucrée susceptible de donner de l'alcool par la fermentation : c'est le sucre de lait ou lactine.

La matière grasse ou beurre et le sucre de lait sont l'un et l'autre formés par la combinaison de trois corps simples : charbon, oxygène et hydrogène, réunis en proportions différentes ; l'oxygène est en plus grande quantité dans le sucre que dans la graisse ; c'est pour ainsi dire une matière déjà à moitié brûlée, bien moins inflammable, par conséquent, que l'huile ou la graisse, et dégageant à poids égal, par sa combustion, une quantité de chaleur plus faible.

La caséine présente une composition très-différente de ces deux autres principes ; elle n'est plus ternaire, mais quaternaire, c'est-à-dire qu'au charbon, à l'oxygène et à l'hydrogène, vient s'ajouter

l'azote. Par sa composition, la caséine ne diffère que très-peu de l'albumine, du blanc d'œuf, de la fibrine du sang, etc.[1].

A ces substances de compositions différentes on attribua des rôles différents également ; on pensa que les composés ternaires, la graisse et la lactine, sont employés seulement à la production de la chaleur animale, que leur rôle est de servir de combustible. Absorbés, après avoir été dissous par les liquides digestifs, ces aliments hydrocarbonés passent dans la circulation et sont brûlés par l'action oxydante de l'air introduit dans les poumons par la respiration.

La caséine, au contraire, ne devait pas être brûlée ; elle devait servir à la création des muscles, des tissus de l'animal. On lui donna le nom d'aliment plastique, qu'on étendit à toutes les matières azotées analogues, en réservant le nom d'aliments respiratoires aux principes gras et sucrés.

On rencontre dans toutes les rations alimentaires nécessaires à l'homme et aux animaux, les matières appartenant à ces deux groupes.

La classe des matières sucrées est très-étendue, et on trouve dans une foule de produits végétaux des substances analogues au sucre de lait. La canne et la betterave fournissent le beau sucre cristallisé, dont l'emploi s'accroît chaque jour ; les fruits acides renferment une autre variété de sucre, la glucose. L'amidon et la fécule, qui font partie intégrante de nos graines alimentaires, froment, seigle, avoine, orge, sarrasin, maïs, riz, etc., se transformant facilement, sous l'influence des liquides digestifs, en glucose, peuvent être également rangés dans le groupe des matières sucrées. Les principes gras se trouvent aussi abondamment répandus dans le règne végétal. On extrait depuis longtemps de l'huile des olives ; on l'extrait encore du colza, du lin, des noix, etc. Le règne animal fournit enfin des graisses interposées dans les tissus, de façon que l'animal, qu'il soit herbivore ou carnivore, peut rencontrer dans ses aliments des substances sucrées et amylacées, des matières grasses, en un mot, des aliments respiratoires.

[1] Le lait renferme encore des principes minéraux très importants, notamment le phosphate de chaux, nécessaire au développement du système osseux des jeunes animaux ; mais comme ces matières ne concourent point à la création de la chaleur animale, nous n'avons pas à nous en préoccuper.

Qu'il se nourrisse de chair ou d'herbe, l'animal trouve aussi dans sa ration des aliments plastiques ; quand il mange de la viande et du sang, il va de soi qu'il puise, tout formé dans les muscles qu'il s'assimile, des matières semblables à celles qui forment ses propres tissus ; mais, bien que moins évidente, la présence de la fibrine, de l'albumine, dans la nourriture de l'herbivore, n'en est pas moins certaine. Qu'on prenne de la farine de froment, par exemple, puis qu'on en fasse une boulette qu'on maintient sous un filet d'eau en la malaxant entre les doigts ; on voit l'eau passer laiteuse ; elle entraîne avec elle l'amidon qui fait partie de la farine ; mais peu à peu l'eau qui coule sur la farine s'éclaircit, et il finit par rester entre les mains de l'opérateur une matière grisâtre, plastique, susceptible de s'allonger en grands lambeaux : c'est le gluten, qu'on désigne parfois sous le nom énergique de viande végétale ; c'est une matière complexe, mais dont on peut séparer de l'albumine toute semblable à celle qui forme le blanc de l'œuf, de la fibrine semblable à celle du sang.

Cette caséine, base du fromage, dont nous avons reconnu la présence dans le lait, existe encore dans les végétaux, et les voyageurs rapportent que les Chinois préparent depuis longtemps un véritable fromage en précipitant par un acide la caséine que renferme l'eau dans laquelle ont digéré des pois concassés [1].

Ainsi les animaux trouvent habituellement dans leurs rations les aliments plastiques et les aliments respiratoires ; mais il faut reconnaître que l'importance de ces deux ordres d'aliments est fort différente. Tandis qu'en effet des aliments plastiques peuvent presque seuls suffire à entretenir la vie, il n'en est pas de même des aliments respiratoires. — Magendie a montré, il y a déjà longtemps, qu'un animal nourri de sucre, d'huile, d'amidon, etc., ne peut vivre, et un expérimentateur qui s'est soumis à ce régime a été forcé d'y renoncer par une sensation de faim intolérable. Des aliments plastiques variés peuvent seuls, au contraire, entretenir la vie. Les peuplades de chasseurs de l'Amérique ne mangent guère que de la chair, et les animaux qu'ils tuent ne renferment que peu de matières grasses ; toutefois ce régime est peu normal, et l'on voit les peuples essentiellement carnivores manifester un goût très-vif pour les boissons carbonées, qui peuvent compléter

[1] Liebig, *Nouvelles Lettres sur la chimie*, page 114. 1852.

ce qui manque à la chair en aliments respiratoires. On connaît notamment le goût des Peaux-Rouges pour les boissons alcooliques, pour les huiles, qui, par leur composition, peuvent être rangées parmi les aliments respiratoires.

Puisque un animal vit, à la rigueur, en n'absorbant que des matières azotées : fibrine, albumine, etc., il faut reconnaître que la distinction faite précédemment n'a rien d'absolu, et que les aliments plastiques peuvent être brûlés comme les aliments respiratoires. L'émission de l'azote par les poumons est douteuse, et ce n'est pas dans les gaz émis par l'acte respiratoire que nous devons chercher l'azote provenant de la combustion des matières azotées, les résidus de la décomposition des aliments plastiques. Si, en effet, un animal émet constamment par les voies respiratoires une certaine quantité d'acide carbonique et d'eau ; si, par la peau, il émet encore de la vapeur d'eau, il rejette au dehors des liquides et des matières solides : dans ces excrétions se retrouvent les résidus des matières azotées, incomplétement brûlées dans l'acte respiratoire.

On comprend même qu'on puisse trouver dans l'étude comparée des déjections et des aliments reçus par un animal à la ration d'entretien, c'est-à-dire d'un animal ne variant pas de poids par suite de la nourriture qu'il reçoit, une vérification des faits observés dans la respiration. Qu'en effet on analyse avec soin toutes les matières ingérées, puis qu'on détermine également la composition de toutes les excrétions, il est évident que la différence entre la somme des matières introduites et la somme des matières expulsées représentera les matières gazeuses émises par la respiration.

Parmi les observateurs qui ont étudié ainsi l'équilibre de la machine animale, se place au premier rang M. Boussingault ; ses expériences ont porté, d'une part, sur un cheval de travail, d'autre part, sur une vache laitière, et il a trouvé, dans les deux cas, qu'il disparaissait une quantité considérable de carbone et d'hydrogène par l'acte de la respiration, et que si l'on retrouvait dans les urines et dans les tissus une fraction importante de l'azote des aliments, une partie était cependant dissipée par l'acte respiratoire. M. Barral[1], et plus récemment M. Voit, ont aussi étudié les phéno-

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. XXV 1849.

mènes de la respiration par cette méthode indirecte ; mais, tandis que le premier confirmait pleinement les résultats qu'avaient obtenus les expérimentateurs précédents, M. Voit, au contraire, a retrouvé dans les déjections tout l'azote des aliments ; il nie par conséquent qu'il y ait de l'azote libre émis pendant la respiration.

L'azote est engagé, dans les fèces, dans des combinaisons très-complexes ; on y trouve surtout des débris d'aliments, puis des matières provenant des liquides organiques qui ont concouru à la digestion ; dans les urines, au contraire, l'azote se trouve toujours à des états bien définis, et notamment sous forme d'une matière blanche cristalline, l'urée, qu'on peut obtenir artificiellement à l'aide des éléments, et aussi par l'oxydation de l'albumine[1].

Quand l'alimentation est riche en principes azotés, la quantité d'urée émise est plus considérable. MM. Pettenkofer et Voit ont observé, en effet, qu'un chien soumis à l'inanition émettait seulement, en 24 heures, 8^{gr},3 d'urée, tandis que cette matière montait à 180^{gr},8 dans le cas d'une alimentation azotée.

Ainsi les matières azotées peuvent, comme les matières carbonées, servir de combustible dans l'acte respiratoire ; mais, tandis que les produits de l'oxydation des matières carbonées, l'eau et l'acide carbonique, sont exhalés par les voies respiratoires, les produits dus à l'oxydation des matières azotées (urée, acide urique, acide hippurique, etc.), sont surtout éliminés par les voies urinaires.

Nous pouvons donc suivre actuellement dans son ensemble ce grand problème de la chaleur animale. Nous voyons que l'air introduit dans les poumons présente une composition très-différente de celui qui en est expulsé ; celui-ci est chargé d'acide carbonique et de vapeur d'eau ; s'il y a de l'acide carbonique et de l'eau formés, il faut que le corps de l'animal soit le siége d'une combustion, et nous voyons, en effet, que l'animal introduit constamment dans son organisme des matières hydro-carbonées. Non-seule-

[1] M. Béchamp a annoncé, il y a plusieurs années, que l'albumine, traitée par le permanganate de potasse, donnait naissance à de l'urée; depuis, plusieurs personnes ont nié cette réaction importante, et M. Béchamp a gardé le silence. Quant à nous, nous avons suivi les procédés indiqués par ce savant, et nous avons pu observer au microscope une cristallisation tout à fait semblable à celle de l'azotate d'urée; nous croyons donc exacte l'affirmation de M. Béchamp.

ment, au reste, ces substances sont brûlées, mais les principes azotés indispensables à la régénération des tissus, les matières plastiques sont brûlées elles-mêmes, et les résidus de cette combustion sont expulsés en dissolution dans l'eau avec les urines.

Les vérifications de ces faits se présentent en foule : prive-t-on un animal de nourriture, il se refroidit et meurt. S'il est soumis à la fois à l'action du froid et à la privation d'aliments, il succombe encore plus vite, et la campagne de Russie, en 1812, en a été pour nous une preuve aussi triste que convaincante. Si l'homme est bien nourri, au contraire, il résiste aux températures les plus basses. Les Esquimaux vivent pendant une partie de l'année exposés aux froids les plus rigoureux ; mais ils consomment, pendant ce temps, une quantité considérable d'une nourriture parfaitement appropriée à leur besoin de créer de la chaleur ; ils dévorent d'énormes morceaux de saumon; ils boivent de l'huile de poisson, et les Européens qui ont séjourné dans ces contrées ont fini par se mettre à ce régime et à le trouver à leur goût.

Des canards vivent ensemble dans un ruisseau, les uns appartiennent à un riche meunier et sont bien nourris, les autres, propriété d'un pauvre éclusier, ne reçoivent aucun aliment et doivent quêter leur nourriture de tous côtés... La température des premiers est toujours trouvée supérieure à celle des seconds.

Un habile physiologiste enfin, M. Chossat, a su mettre en lumière, de la façon la plus nette, l'abaissement de température qui suit la privation d'aliments, chez des animaux qu'il a laissés mourir de faim. Ainsi il a trouvé :

	TEMPÉRATURE MOYENNE.	
	Premier jour de l'expérience.	Au moment de la mort.
Pigeon.	41°.7	26°.2
Tourterelle..	42°.3	22°.9
Poule.	42°.5	28°.2
Corneille	41°.8	27°.3
Lapin.	38°.4	27°.0
Cochon d'Inde. . . .	39°.0	23°.9

Il est, toutefois, des animaux qui, pendant une partie de l'année, se trouvent privés de nourriture. Les fruits, les végétaux qu'ils mangent habituellement font défaut ; les insectes, les larves, qui pourraient les remplacer, ont terminé leur existence éphé-

mère et ont seulement déposé leurs germes pour les saisons suivantes ; la famine est partout ; vont-ils mourir ? Non. La nature prévoyante leur donne la faculté de s'endormir ; elle éteint peu à peu leur respiration, son activité diminue, et la graisse que l'animal accumule pendant la belle saison, résorbée peu à peu, lentement brûlée, suffit à maintenir la chaleur, conservée, au reste, par d'épaisses fourrures.

Les animaux hibernants consomment, pendant leur sommeil, une quantité d'oxygène infiniment moindre que lorsqu'ils veillent, et leur température est toujours notablement inférieure à celle qu'ils ont dans l'état de veille. Dans les expériences de MM. Regnault et Reiset sur les marmottes, cette absorption s'est réduite, pendant le sommeil, à un vingtième de ce qu'elle était dans l'état de veille. Si diminuée que soit la fonction respiratoire, elle n'est pas nulle cependant, car les animaux qui s'endorment gras se réveillent maigres, la graisse accumulée ayant été employée à maintenir la chaleur animale à un degré convenable [1]. Ils ne s'endorment, au reste, qu'autant que la saison précédente a été assez abondante pour qu'ils aient pu s'engraisser ; s'ils sont maigres à l'automne, ils restent éveillés et actifs, capables de s'ingénier pour trouver leur nourriture.

[1] Dans leur important mémoire sur la respiration, MM. Regnault et Reiset signalent plusieurs faits dignes d'attention relativement à l'activité respiratoire des animaux hibernants. M. Sacc, de Neuchatel, avait commencé des recherches sur les marmottes ; mais, apprenant que MM. Regnault et Reiset avaient entrepris un travail d'ensemble sur la respiration, il leur envoya, avec les animaux sur lesquels il opérait, les résultats de ses premières expériences. Elles lui avaient permis de constater que pendant le sommeil absolu les marmottes augmentaient de poids, jusqu'au moment où elles ont une évacuation ; il est évident que l'hydrogène de leur graisse, brûlé par l'oxygène introduit par la respiration, était transformé en eau, et que cette eau, accumulée dans la vessie, causait l'augmentation de poids observée. Dans une des expériences de MM. Regnault et Reiset, les marmottes endormies étant placées dans l'appareil décrit plus haut, avec une quantité d'oxygène plus que suffisante pour leur respiration ; en admettant qu'elle restât celle qu'elle avait été les jours précédents, une des marmottes se réveilla pendant la nuit, car on ne la trouva plus à la place qu'elle occupait la veille. Sa respiration devint plus active, elle consomma bien plus d'oxygène que pendant le sommeil. Ce gaz devint bientôt insuffisant, et elle mourut asphyxiée, tandis qu'à côté d'elle la marmotte encore endormie supporta sans accident un séjour de plusieurs heures dans cette atmosphère mortelle pour sa compagne éveillée.

IV

Les animaux respirent et se meuvent. — Tandis que la production de chaleur ne se rencontre que chez quelques-uns, la production de mouvement se rencontre chez tous. — Transformation de la chaleur en mouvement. — Le soleil est la cause première de la chaleur et du mouvement animal.

La première distinction que l'homme établit entre les êtres vivants repose sur la faculté, qu'ils ont ou n'ont pas, de se mouvoir volontairement. Les animaux, comme les végétaux, vivent, s'accroissent et se multiplient; mais les uns se meuvent et les autres restent en repos.

A côté de cette première différence, les études précédentes nous permettent d'en placer une seconde : tous les animaux sont le siége de réactions chimiques importantes; des combustions constantes ne cessent de s'opérer dans leurs tissus. Qu'on examine l'air dans lequel a vécu un animal quelconque : mammifère, oiseau, reptile, insecte, on le trouve toujours chargé d'acide carbonique et de vapeur d'eau.

Ainsi les animaux se meuvent, et les animaux possèdent un appareil à combustion. N'y a-t-il aucun rapprochement à établir entre ces deux ordres de faits? Sont-ils étrangers l'un à l'autre? Se trouvent-ils rassemblés fortuitement, ou bien, au contraire, ont-ils une étroite liaison, et dérivent-ils l'un de l'autre?

Pour répondre, examinons d'abord une machine à feu : prenons-la très-simple : un foyer fournissant de la chaleur, de l'eau absorbant cette chaleur pour se transformer en vapeur; enfin, un corps de pompe dans lequel se meut un piston; la vapeur, après avoir soulevé le piston, se condense enfin dans de l'eau froide, communiquant au moment convenable avec le corps de pompe.

La machine est en feu; de la chaudière s'échappe la vapeur; nous notons sa température au moment où elle pénètre dans le corps de pompe pour soulever le piston. Ce piston est soulevé; il a accompli un certain travail : il a élevé, par exemple, de l'eau dans l'intérieur des tuyaux de pompe d'une mine. La vapeur a exercé un certain effort; elle a produit un certain travail : mais, du même coup, elle s'est refroidie, et si nous notons sa température au moment où elle sort de l'appareil et pénètre dans le con-

denseur, nous la trouvons notablement plus basse qu'au commencement.

Ainsi la chaleur manifestée par la combustion du charbon et de l'hydrogène de la houille, la chaleur due au jeu des affinités chimiques, accumulée par la vapeur, s'est transformée en travail mécanique ; elle a opéré un certain effort, mais du même coup s'est dissipée ; la température que nous offre la vapeur qui a travaillé n'est plus que la différence entre la chaleur qu'elle possédait d'abord et celle qui a revêtu la forme de travail mécanique.

Il faut forcément qu'il en soit ainsi, car si la vapeur après avoir poussé le piston avait conservé la même température qu'avant l'opération, il en faudrait conclure que ce mouvement, ce travail sont nés de rien, on serait donc forcé d'arriver à cette conséquence manifestement absurde, que le mouvement perpétuel est non-seulement possible, mais encore réalisé

Un corps qui brûle, une combustion quelconque, dégage donc, non pas de la chaleur, le mot est trop absolu, mais une force qui peut se manifester à nous sous forme de chaleur, ou sous celle de travail mécanique ; ce dernier pouvant à son tour, au reste, reproduire la chaleur dont il provient, ce qui s'exécute notamment dans les frottements.

La transformation de la force dégagée par le jeu des affinités chimiques, en chaleur ou en travail, complémentaires l'un de l'autre, et pouvant se métamorphoser l'un dans l'autre, est le point essentiel qu'il nous faut bien mettre en lumière. Une ancienne expérience, rappelée récemment[1], est des plus convaincantes. Rumfort tirait un pistolet tantôt à balles, tantôt à poudre : « J'étais dans l'habitude, dit-il, de saisir avec la main gauche le canon, aussitôt après chaque décharge, pour le tenir pendant que je l'essuyais en dedans avec une baguette garnie d'étoupes, et j'étais fort surpris de trouver que le canon était beaucoup plus échauffé par l'explosion d'une charge de poudre donnée, quand il n'y avait point de balles devant la poudre, que quand une ou plusieurs balles étaient chassées par la charge. »

Ainsi, quand les gaz accomplissent un travail mécanique, qu'ils poussent la balle, ils se refroidissent, la chaleur extérieure est

[1] M. Charles Laboulaye, *Annales du Conservatoire*, tome I, page 74.

peu sensible ; elle l'est beaucoup, au contraire, quand les gaz n'ont à exercer aucun travail.

Il y a donc une liaison évidente entre le travail mécanique et la chaleur. Les animaux développent de la chaleur parce qu'ils ont un appareil à combustion, dans lequel brûlent constamment de l'hydrogène et du carbone ; et s'ils se meuvent, c'est encore parce qu'ils possèdent cet appareil à combustion. Plus les efforts musculaires qu'ils devront faire seront considérables, et plus il faudra fournir de combustible à la machine, de même que pour maintenir la température constante, il fallait d'autant plus activer la combustion que le froid extérieur était plus rigoureux.

Lavoisier, certainement, n'avait pas cette idée aussi nette que nous la formulons aujourd'hui ; mais ces rapprochements, toutefois, ne lui avaient pas complétement échappé. Il avait vu, dans une expérience, un homme qui consommait 24 litres d'oxygène par heure, à l'état de repos, en exiger 63 litres pour sa respiration, quand il accomplissait le travail nécessaire pour soulever, en 15 minutes, un poids de 7 kilos 343, à 200 mètres de hauteur ; aussi, pouvait-il écrire dans son mémoire sur la respiration des animaux :

« Tant que nous n'avons considéré, dans la respiration, que la seule consommation de l'air, le sort du riche et celui du pauvre étaient le même ; car l'air appartient également à tous et ne coûte rien à personne ; l'homme de peine, qui travaille davantage, jouit même plus complétement de ce bienfait de la nature. Mais maintenant que l'expérience nous apprend que la respiration est une véritable combustion, qui consume à chaque instant une portion de la substance de l'individu ; que cette consommation est d'autant plus grande que la circulation et la respiration sont plus accélérées ; qu'elle augmente à proportion que l'individu mène une vie plus laborieuse et plus active, une foule de considérations morales naissent comme d'elles-mêmes de ces résultats de la physique.

« Par quelle fatalité arrive-t-il que l'homme pauvre, qui vit du travail de ses bras, qui est obligé de déployer, pour sa subsistance, tout ce que la nature lui a donné de forces, consomme plus que l'homme oisif, tandis que ce dernier a moins besoin de réparer? Pourquoi, par un contraste choquant, l'homme riche jouit-il d'une abondance qui ne lui est pas physiquement néces-

saire, et qui semblait destinée pour l'homme laborieux? Gardons-nous, cependant, de calomnier la nature, et de l'accuser des fautes qui tiennent, sans doute, à nos institutions sociales, et qui, peut-être, en sont inséparables. Contentons-nous de bénir la philosophie et l'humanité, qui se réunissent pour nous promettre des institutions sages, qui tendront à rapprocher les fortunes de l'égalité, à augmenter le prix du travail, à lui assurer sa juste récompense, à présenter à toutes les classes de la société, et surtout aux classes pauvres, plus de jouissances et plus de bonheur. Faisons des vœux, surtout, pour que l'enthousiasme et l'exagération qui s'emparent si facilement des hommes réunis en assemblées nombreuses, pour que les passions humaines qui entraînent la multitude, si souvent contre son propre intérêt, et qui comprennent dans leur tourbillon le sage et le philosophe, comme les autres hommes, ne renversent pas un ouvrage entrepris dans de si belles vues, et ne détruisent pas l'espérance de la patrie. »

Hélas! elle fut détruite, l'espérance de la patrie, quand disparut en pleine maturité cette vaste intelligence, ce grand cœur, qui semblait prévoir, dès l'aurore de 89, la sanglante tempête de 93.

Si Lavoisier, si les autres naturalistes avaient remarqué que l'activité musculaire augmente la consommation de la machine animale; s'il apparaissait ouvertement que plus le mouvement des animaux est prolongé, plus il est rapide, plus la machine consomme, plus, en même temps, la température est élevée; si on savait bien que l'oiseau rapide, qui tourbillonne dans l'air pendant des heures sans s'arrêter, a une respiration plus active que le ver de terre qui rampe péniblement; si on savait que cette activité respiratoire, productrice de mouvement rapide, était en même temps productrice d'une chaleur considérable, et que les animaux qui, dans un temps donné, vicient le plus d'oxygène en respirant, produisent en même temps plus de chaleur, on n'avait pas entrevu les relations qui lient et rendent complémentaires la chaleur et le travail mécanique avant le médecin allemand, Jules-Robert Mayer. En montrant, en 1845, que le mouvement des animaux dérive, comme leur chaleur, des réactions chimiques qui se produisent pendant l'acte respiratoire, il fit faire à la physiologie générale un progrès analogue à celui qui avait été dû à Lavoisier, quand il avait placé dans ces mêmes réactions chimi-

ques, produites dans l'économie, l'origine de la chaleur animale.

Bien des travaux sont venus depuis non-seulement confirmer ces vues hardies, mais de plus établir numériquement à quel travail correspond une quantité de chaleur déterminée, à quel effort *équivaut* cette chaleur produite. Il n'entre pas dans le cadre de cet article de refaire l'historique de ces travaux, présenté l'an dernier par notre collaborateur M. E. Lamé, et nous devons nous occuper seulement de ceux qui ont trait à l'organisation animale.

M. Hirn, d'abord, cherche à vérifier par l'expérience les idées de Mayer : un homme est placé dans une chambrette d'un volume assez restreint pour que les variations de température de l'air causées par sa présence y soient sensibles. Cet homme est d'abord au repos, on note l'élévation de température après un certain temps, on détermine en même temps la quantité d'oxygène consommé par la respiration. L'individu en expérience est ensuite soumis au travail; la température de la chambre s'élève davantage, cela est certain, mais la quantité d'oxygène consommé croît encore bien plus rapidement, de telle sorte que l'élévation de température observée est loin de correspondre à l'oxygène fourni pour la respiration.

On appelle *calorie* la quantité de chaleur nécessaire pour élever de un degré la température de un kilogramme d'eau. M. Hirn trouva dans ses expériences que pour un gramme d'oxygène consommé, l'homme dégageait au repos environ cinq calories et demie, tandis que lorsqu'il travaillait, pour un gramme d'oxygène consommé, il n'était plus émis dans l'enceinte que deux calories et demie environ.

Ainsi dans le second cas, une partie notable de la force produite par l'action chimique respiratoire s'était manifestée sous forme de travail mécanique.

Un chimiste, qui s'est surtout voué aux recherches de chimie animale, M. Lehmann, a montré encore que, non-seulement l'accélération de la respiration, qui accompagne forcément le travail mécanique, se manifestait par un dégagement plus considérable d'acide carbonique et de vapeur d'eau, mais aussi par une oxydation plus rapide des tissus, des éléments azotés de l'organisme, démontrée par un accroissement dans la production de l'urée, et une diminution dans la proportion de l'acide urique, seconde matière moins oxydée que la première. Il a remarqué, chez les che-

vaux, un fait analogue : des chevaux, soumis au travail, présentaient, dans leur urine, de l'acide benzoïque, corps plus riche en oxygène que l'acide urique qu'ils produisent lorsqu'ils sont en repos. — On comprend facilement qu'il en soit ainsi, quand on se rappelle, avec M. Lassaigne[1], comment s'active la respiration pendant l'exercice. Un premier cheval exhalant, par heure, 341gr,69 d'acide carbonique, en exhalait 745gr,90 après un quart d'heure d'exercice; et un deuxième cheval exhalant, par heure, 685gr,38 d'acide carbonique, en exhalait 754gr,88 après l'exercice.

Un médecin français, M. Béclard, a exécuté, sur le sujet qui nous occupe, une série d'expériences fort importantes, que chacun peut répéter, pourvu qu'il ait à sa disposition un bon thermomètre. M. Béclard examine quelle est la quantité de chaleur dégagée par un muscle éprouvant une contraction constante, quand il exécute un travail, ou quand il se contracte sans produire d'effet utile. Il applique sur le muscle du bras, qui doit se contracter pour soutenir un poids sans l'élever, un bon thermomètre, et il note la température trouvée; l'opérateur élève ensuite, pendant un certain temps, le poids qu'il soutenait d'abord, et la température du muscle qui a travaillé est encore donnée par l'application du thermomètre; dans le second cas, cette température est toujours moins élevée que dans le premier.

La différence, au reste, n'est pas très-considérable; ainsi, dans la troisième expérience citée par M. Béclard, qui a duré cinq minutes, le poids à soutenir était de 5 kil., la température extérieure de 25°,8, la température du biceps, au début, de 34°,36, et la température finale de 35°,66.

Quand on éleva le poids pendant cinq minutes, en faisant deux cents mouvements d'élévation de seize centimètres, qu'on eut, par conséquent, produit un travail extérieur de 160 kil., la température du biceps passa seulement de 34°,36 à 35°,30.

Ainsi, la chaleur de contraction pendant l'expérience d'équilibre était de 1°,32 ; la chaleur de contraction dans l'expérience de mouvement fut de 1°,06 : la différence était donc de 0°,26.

Si cette différence est peu sensible, elle se reproduit constamment. Constamment on a trouvé que la chaleur dégagée était plus

[1] *Journal de chimie médicale*, tome V, 1849. — Le mode d'opérer ne paraît pas à l'abri de tout reproche.

faible quand une partie du fluide dégagé par les phénomènes chimiques de la combustion avait été employée à produire du travail. Le travail et la chaleur nous apparaissent donc encore une fois comme les deux manifestations *complémentaires* de la force dégagée par les actions chimiques, mises en jeu par la combustion du charbon et de l'hydrogène pendant l'acte respiratoire.

Enfin va s'éclairer aussi une question que le lecteur, sans doute, nous adresse depuis longtemps; c'est, nous l'avons répété souvent, à l'action chimique accomplie pendant la respiration que nous attribuons la chaleur animale, et nous n'en doutons pas; mais que devient cette action chimique, productrice de chaleur, dans les animaux à sang froid? Ils respirent cependant, nous le savons. De l'air dans lequel séjourne un reptile ou un poisson, se charge d'acide carbonique. Que devient donc, dans ce cas, cette action chimique? Comment ne produit-elle pas de chaleur?

Reconnaissons d'abord que l'énergie respiratoire est moindre dans ces animaux que dans les mammifères et les oiseaux, et rappelons-nous ensuite que l'action chimique peut produire indifféremment chaleur ou mouvement. Ces animaux, qui respirent peu, ne dégagent pas de chaleur, il est vrai; mais ils se meuvent, et c'est sous forme de mouvement, de travail mécanique, qu'apparaît la force produite pendant les actions chimiques de la respiration.

Tandis que l'oiseau si mobile, infatigable, qui parcourt d'immenses distances en se soutenant dans les airs, est armé d'un puissant appareil respiratoire, consomme beaucoup d'oxygène et produit à la fois chaleur et mouvement; tandis que le mammifère, plus lourd déjà, reposant sur terre et produisant encore chaleur et mouvement, consomme déjà moins de gaz oxygène, le reptile paresseux, le poisson soutenu de tous côtés par un liquide, respirent moins énergiquement et ne produisent plus que du mouvement; mais que la nature toujours riche, prodiguant les êtres à pleines mains, veuille faire voltiger l'insecte de fleur en fleur, elle lui redonne une machine à feu mieux combinée, un organe respiratoire plus puissant, et l'abeille est à la fois productrice de chaleur et de mouvement.

Ainsi tout animal, tout être doué de mouvement volontaire, se montre à nous non-seulement comme un appareil à combustion, mais comme une machine thermique. Chacun de ses mouvements n'est qu'une conversion partielle en travail mécanique de la cha-

leur produite par la combustion, ou mieux encore, de l'affinité chimique mise en mouvement pendant la réaction de l'oxygène sur le charbon et l'hydrogène des aliments.

D'où vient enfin cette chaleur qui anime les êtres vivants comme les machines puissantes que nous savons créer aujourd'hui? Du soleil! le grand vivificateur de tout ce qui est ici-bas. Pour que les plantes, en effet, puissent décomposer l'acide carbonique et l'eau, vaincre les forces chimiques qui réunissent si énergiquement les éléments qui constituent ces corps composés, il faut qu'elles reçoivent les rayons lumineux ou calorifiques de l'astre qui nous éclaire. « Ce que les plantes reçoivent du soleil, ce qu'elles absorbent, c'est de la chaleur... C'est en consommant cette chaleur qu'elles peuvent augmenter la quantité de matières combustibles qui existe à la surface de la planète. » C'est en mettant en réserve cette chaleur, en l'absorbant pendant les siècles précédents, pendant la période houillère, que les plantes ont accumulé cette quantité immense de chaleur, de travail mécanique, que renferment nos mines de houille; c'est en l'accumulant, aujourd'hui encore, que les plantes nous fournissent le combustible qui nous permet de nous mouvoir, et si je puis faire courir ma plume sur le papier, c'est que le soleil a éclairé, l'an dernier, le champ de blé qui me nourrit. « Ce ne sont pas, disait Stephenson en voyant avancer un convoi à toute vitesse, ces puissantes locomotives, dirigées par nos habiles mécaniciens, qui font marcher ce train, c'est la lumière du soleil, la lumière qui, il y a des myriades d'années, a dégagé le carbone de l'acide carbonique, pour le fixer dans des plantes qu'une révolution du globe a ensuite modifiées en houille[1]. »

Ce ne sont ni le froment, ni l'orge, pouvons-nous dire aujourd'hui, qui font mouvoir tous ces êtres qui tourbillonnent autour de nous, c'est la lumière du soleil qu'accumule lentement, pour fournir à ce mouvement, la plante immobile; elle absorbe la chaleur et la force sans en rien distraire, mettant tout en réserve pour les privilégiés de la nature, les êtres animés, qui consomment et dépensent ces forces accumulées. Depuis longtemps, on a senti que, sous ses deux formes différentes, la vie avait deux fonctions diverses; on a depuis longtemps écrit qu'elles étaient com-

[1] Voy. l'*Annuaire scientifique*, 2e année, *la Composition de l'atmosphère*.

plémentaires : cette idée trouve ici un nouveau développement, et nous reconnaissons que l'immobilité de la plante, qui lui permet d'accumuler de la chaleur, est nécessaire à la mobilité de l'animal, qui doit transformer cette chaleur en mouvement.

P. P. DEHÉRAIN.

II

DE L'ABSORPTION ET DE LA SECRÉTION

CHEZ LES ÊTRES VIVANTS

A PROPOS DES TRAVAUX DE M. TH. GRAHAM

« J'ai vu souvent les lois de la physique générale présider à l'exercice des phénomènes physiologiques. Ces premiers essais de l'application des phénomènes physiques à l'explication des phénomènes physiologiques tendent à faire disparaître le mysticisme que les physiologistes vitalistes ont introduit dans la science. L'époque n'est pas éloignée, je l'espère, où l'on verra substituer à ces causes occultes et mystiques, à l'aide desquelles on explique les phénomènes vitaux, l'exposition des lois physiques auxquelles ils sont dus. On ne dira plus que les organes appellent les liquides ; qu'ils choisissent pour se nourrir ou pour les absorber les substances qui leur conviennent ; toutes ces psychomorphies disparaîtront devant les faits qui ramèneront sous l'empire des lois physiques les phénomènes physiologiques que l'on a voulu leur soustraire. Rien certainement n'a plus nui aux progrès de la physiologie que cet isolement systématique où l'on a voulu mettre les phénomènes qui lui sont propres des autres phénomènes généraux de la nature. »

Ainsi disait Dutrochet en 1837 [1] ; la suite lui a donné raison. — Nous avons déjà eu occasion d'entretenir les lecteurs de l'*Annuaire* [2] d'un travail important entrepris dans le but de montrer que les forces chimiques sont capables de produire artificiellement

[1] *Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux*, avant-propos.

[2] 1re année, page 71, 2e année, page 104.

les substances que sécrètent les êtres vivants : l'éclatant succès qui a couronné les nombreuses synthèses de M. Berthelot a démontré qu'on serait mal venu d'attribuer à une cause différente de l'affinité chimique la production des matières variées qu'on rencontre dans les tissus des végétaux, et qu'il fallait, par conséquent, rapporter à une cause physique ce qu'on croyait naguère du domaine de la force vitale.

Aujourd'hui nous trouvons dans les expériences remplies d'intérêt présentées à la *Société chimique*, en 1861, par M. Jamin, et surtout dans un travail d'une haute importance, récompensé par notre Académie des sciences du prix le plus élevé qu'elle ait à sa disposition, l'aurore d'une nouvelle branche de la physique qui peut avoir la plus heureuse influence sur l'explication de certains phénomènes d'absorption et de sécrétion dont les êtres vivants sont le théâtre, et nous croyons devoir mettre sous les yeux des lecteurs les résultats les plus importants auxquels est arrivé M. Th. Graham.

Toutefois, avant de nous occuper de ces recherches récentes, il importe de rappeler les travaux déjà anciens de Dutrochet, qui ont ouvert la voie dans laquelle s'efforcent de marcher ensemble physiologistes, chimistes et physiciens, en se prêtant un mutuel appui. Si, en effet, les différents points de vue auxquels on se place pour étudier la nature ont conduit à la création de plusieurs sciences différentes, l'objet unique des études les force souvent de se réunir en un seul faisceau, en s'empruntant les unes aux autres leurs procédés d'investigation.

I

De l'absorption chez les animaux et les végétaux. — Endosmose. — Expérience de Dutrochet.

De tous les phénomènes qui accompagnent la vie, le plus important est sans doute l'absorption, puisque c'est par elle que le végétal ou l'animal peut puiser dans le monde extérieur et faire pénétrer dans son organisme les éléments constitutifs de ses tissus.

Toutes les parties des végétaux ne paraissent pas également favorables à l'absorption ; les liquides sont surtout puisés dans la

terre par l'extrémité des racines, qui, se ramifiant en fibres nombreuses et déliées, a reçu le nom de chevelu. Ces organes ne sont pas munis d'ouvertures béantes, comme on serait tenté de le croire, ce sont des fils pleins, ce ne sont pas des tubes, mais ils sont formés par un tissu lâche, spongieux, délicat, très-propre à l'imbibition.

Une expérience classique sert à démontrer dans les cours que l'absorption des liquides n'a pas lieu par le corps des racines elles-mêmes, mais par le chevelu ; dans un cylindre de verre ouvert aux deux bouts est engagée la racine d'une plante, de façon que le chevelu dépasse le cylindre ; avec un bouchon on ferme l'extrémité inférieure du cylindre qui est alors rempli d'eau ; le haut de la racine seul y est plongé ; le chevelu dépasse le cylindre et reste dans l'air ; dans ces conditions la plante se flétrit, car le chevelu n'étant pas baigné par le liquide, l'absorption ne peut avoir lieu. C'est par le chevelu des racines que la plante puise dans la terre les dissolutions étendues, salines ou gazeuses dont elle doit se nourrir. Les feuilles sont aussi des agents d'absorption, mais qui paraissent surtout exercer leur action sur les gaz ; il est certain au moins que l'acide carbonique de l'air, qui contribue tant au développement du végétal, est puisé dans l'atmosphère par les feuilles; les racines paraissent aussi capables, sinon d'absorber, au moins d'être sensibles à l'action des gaz, et nous avons dans nos promenades parisiennes de tristes exemples de l'influence des émanations du gaz d'éclairage sur la santé de nos arbres.

Les animaux peuvent absorber les liquides et les gaz par la peau, et encore mieux par les muqueuses qui tapissent l'intérieur de leurs organes ; en plaçant une grenouille préalablement pesée dans un vase rempli d'eau, la tête en dehors du liquide, on peut constater, après quelques heures, une augmentation de poids notable, due à l'introduction de l'eau à travers la peau ; il est facile également de reconnaître que des matières médicamenteuses sont absorbées par la peau, recouverte de son épiderme, et on sait que la médecine emploie souvent ce mode d'action ; les frictions mercurielles, prolongées pendant quelque temps, amènent la salivation qui caractérise l'absorption du mercure et sa dispersion dans toute l'économie. On a prouvé encore cette absorption plus directement par de nombreuses expériences. Westrumb rapporte que, si on plonge l'avant-bras dans un bain à 30° cent. contenant du prus-

siate de potasse, du musc ou du nitrate de potasse, l'odeur du musc est sensible dans l'haleine au bout de trois quarts d'heure, et que la présence du prussiate de potasse est facile à caractériser dans l'urine, tandis qu'on ne peut y découvrir celle du nitre. Il y a donc non-seulement absorption du liquide à travers la peau, mais encore pénétration au travers d'une série de cavités fermées, jusqu'au système veineux dont les nombreuses ramifications sont aussi closes de toutes parts ; le sang se répand enfin dans les poumons, mais il n'y est en contact avec l'air extérieur qu'au travers de membranes, de sorte que les liquides odorants, pour passer du bras jusque dans l'air expiré, ont dû traverser un grand nombre de membranes et pénétrer par absorption dans plusieurs systèmes de vaisseaux différents.

L'absorption des vapeurs et des gaz par la membrane pulmonaire est des plus évidentes ; on cite comme un exemple remarquable le fait suivant, qui remonte à 1810 ; le vaisseau anglais *le Triomphe* reçut à son bord une grande quantité de mercure qui s'échappa bientôt des barils dans lesquels on l'avait enfermé, et de là fit irruption dans tout le navire. Pendant une période de trois semaines, deux cents personnes furent atteintes de salivation, d'ulcérations à la bouche, à la langue, de paralysies partielles et de dérangement des intestins. Ces funestes effets se firent également sentir sur les animaux qu'on avait à bord ; plusieurs même périrent victimes de cette intoxication.

Il est de nombreuses professions dans lesquelles des matières mélangées à l'air atmosphérique exercent sur la santé des ouvriers les effets les plus pernicieux ; enfin on sait que les enfants et même les adultes contractent diverses maladies, coqueluche, variole, rougeole, scarlatine, pour avoir respiré dans un milieu où a séjourné un malade atteint d'une de ces affections.

L'acte de la respiration n'est lui-même encore dans sa partie essentielle qu'un phénomène d'absorption ; l'air atmosphérique, en effet, n'est pas directement en contact avec le sang qui circule dans les nombreux vaisseaux qui s'épanouissent dans le poumon, il y a au travers de ces vaisseaux absorption du gaz oxygène, émission du gaz carbonique, ainsi que le prouve l'expérience suivante. On prend sur une grenouille vivante le poumon gorgé de sang, et, après avoir placé une ligature autour de la base de cet organe pour y emprisonner ce liquide, on le sépare du reste du corps, et

on le suspend alternativement dans de l'oxygène et dans du gaz acide carbonique : dans le premier cas, on voit le sang prendre une teinte vermeille, et dans le second il ne tarde pas à présenter un ton rouge rabattu de noir ; changements qui dépendent de l'action différente de ces deux fluides sur les globules du sang. Les gaz en contact avec la surface extérieure de ce poumon privé de vie ont par conséquent traversé le tissu des membranes dans l'épaisseur duquel serpentent les vaisseaux où le sang est renfermé, et sont allés se mêler à ce liquide comme dans les phénomènes d'absorption dont les êtres vivants sont le siége.

L'expérience démontre encore que l'absorption des liquides et de certaines matières solubles peut avoir lieu par les parois de l'estomac ; si on fait boire un chien, après lui avoir lié le pylore, c'est-à-dire après avoir interrompu toute communication entre la poche de l'estomac et le reste du tube digestif ; puis qu'après une demi-heure on sacrifie l'animal pour faire l'autopsie, on reconnaît que l'eau a complétement disparu. L'alcool introduit dans l'estomac disparaît très-vite également, il est absorbé et rejeté rapidement par les voies respiratoires, car, après peu de temps, l'haleine contracte l'odeur spéciale des liquides alcooliques.

Enfin il est d'autant plus évident que les parois des vaisseaux peuvent absorber les corps liquides, que ces vaisseaux forment un réseau fermé de toutes parts, et qui ne s'ouvre d'aucun côté au dehors. Magendie a fait, au reste, sur ce sujet, les expériences les plus probantes : une veine est complétement mise à nu dans la cuisse d'un chien, une décoction vénéneuse est alors placée sur une carte placée au contact de cette veine, l'animal succombe bientôt. On sait, enfin, que les veines et certains vaisseaux lymphatiques, notamment les chylifères, qui, contrairement à ce que croyait Bichat, ne s'ouvrent directement ni dans l'estomac, ni dans le tube intestinal, mais qui s'y ramifient de toutes parts, sont les agents d'absorption de toutes les matières alimentaires introduites dans la cavité digestive qui, par conséquent, doivent encore passer au travers des parois de ces vaisseaux.

Quel est le mécanisme de cette absorption ? Quelle est la force qui détermine le passage de tous ces fluides dans l'intérieur de l'organisme, qui les fait ainsi traverser les parois membraneuses des vaisseaux absorbants ? Comment les végétaux peuvent-ils puiser dans le sol, élever jusqu'au sommet de leur tige les liquides

qui baignent leurs racines? Comment la peau, les muqueuses, les parois des vaisseaux peuvent-elles se laisser pénétrer à chaque instant par les gaz et les liquides que nous voyons circuler au travers de l'organisme, comme si toutes ces cavités, au lieu d'être complétement closes, étaient perforées d'un nombre considérable d'ouvertures?

Une première théorie fut d'abord fort en faveur parmi les anciens anatomistes : ils supposaient naturellement, à l'origine des lymphatiques et des veines qui viennent puiser dans le tube digestif les matériaux élaborés par la digestion, l'existence de prétendues bouches absorbantes qui, agissant à la manière de sangsues intelligentes, seraient douées de la faculté de choisir et d'aspirer ce qui doit être introduit dans le domaine circulatoire. Cette théorie, déjà vivement attaquée par les recherches des anatomistes, impuissantes à constater l'existence de ces ouvertures, reçut le dernier coup quand Dutrochet exécuta ses belles expériences d'endosmose.

Qu'on prenne, comme il l'a enseigné, une membrane animale qui ferme la partie inférieure d'un tube de verre ouvert aux deux extrémités ; qu'on place dans ce tube un liquide d'une densité plus grande que l'eau pure, de l'eau gommée, par exemple ; puis qu'on plonge le tout dans l'eau, et l'on verra bientôt se produire un courant entraînant l'eau dans l'intérieur du tube, de façon à la faire monter à une hauteur considérable, malgré les lois de la pesanteur. Tandis que l'eau pure pénètre ainsi à travers la membrane, qu'il y a *endosmose*, il y a presque toujours d'autre part *exosmose*, c'est-à-dire qu'une partie du liquide intérieur passe au travers de la membrane animale pour venir se répandre au dehors; dans le cas de l'eau gommée ou de l'eau sucrée, le courant *endosmotique* extérieur étant de beaucoup le plus fort, on voit l'eau monter très-sensiblement dans l'appareil.

Non-seulement les zoologues, mais encore les botanistes trouvèrent dans cette expérience capitale l'explication de plusieurs faits relatifs à l'absorption des fluides. La découverte de l'endosmose nous permet déjà de comprendre l'ascension de l'eau dans les fibres végétales. Les cellules qui forment le tissu des racines sont, dit-on, remplies de sucs plus denses que l'eau dont la terre est imbibée, et cette eau doit, par l'effet de l'endosmose, s'infiltrer à travers leurs membranes, gonfler les cavités des cellules les plus

extérieures en diminuant la densité du liquide qui s'y trouvait, et passer de là dans les cellules les plus profondes. Ce serait donc parce que les cellules naissantes de l'extrémité de la racine seraient gonflées de sucs épais, tout à fait propices à l'endosmose, que l'absorption aurait lieu par l'extrémité des radicelles.

On attribuait ainsi l'ascension de la séve surtout à la force d'endosmose, quand, récemment, M. Jamin[2] vint montrer que la force d'attraction qui s'exerce entre les liquides et les solides, et qui porte le nom de *capillarité*, intervient aussi puissamment dans les phénomènes d'absorption que nous observons chez les végétaux.

Tout le monde sait que, si on plonge un tube d'un diamètre extrêmement petit, aussi fin qu'un cheveu, capillaire, dans de l'eau, on voit cette eau monter dans l'intérieur du tube jusqu'à une hauteur assez considérable. Cette force d'attraction, déjà si sensible dans un tube de verre, le devient encore bien davantage dans des corps poreux comme le sont les fibres des plantes par lesquelles a lieu l'ascension des liquides.

L'eau pénétrant au travers de ces petites cavités y exerce sur les gaz qui s'y trouvaient renfermés une pression énorme, que M. Jamin a pu mesurer dans plusieurs circonstances et qui s'élève à trois ou quatre atmosphères. Si, par exemple, comme il l'a fait, on prend un vase poreux rempli d'amidon bien tassé, et qu'on soude à la partie supérieure du vase un manomètre à mercure, l'eau qui pénètre dans la masse exerce sur les gaz qui y sont contenus une telle pression, elle les refoule dans le manomètre avec une telle énergie que, si l'expérience se prolonge, ce manomètre sera brisé complétement.

Il n'est donc plus nécessaire de recourir à la force vitale pour expliquer l'ascension de la séve dans les arbres même les plus élevés, l'attraction exercée par les corps poreux sur les liquides suffit parfaitement à cette explication, et la capillarité, dont l'endosmose ne paraît être qu'un cas particulier, peut expliquer les phénomènes d'absorption cités plus haut ; le corps d'une grenouille remplie de liquides plus denses que l'eau peut, par endosmose, s'imbiber d'eau pure ; les veines qui se ramifient sur les parois de l'estomac peuvent absorber encore le liquide moins dense qu'on y introduit. On admet encore qu'il peut se passer un phénomène

[1] Voyez *Leçons de la Société chimique pour* 1861.

d'endosmose analogue entre les liquides provenant de l'action des agents digestifs sur les matières alimentaires et les liquides circulant dans l'intérieur des veines et des lymphatiques ; les parois de ces vaisseaux agissant comme la membrane animale dans l'expérience fondamentale de Dutrochet.

Il nous faudrait ici, après avoir indiqué comment les phénomènes d'endosmose expliquent quelques-uns des faits relatifs à l'absorption, donner la raison de ce phénomène d'endosmose lui-même ; mais il exige, pour être bien compris, la connaissance de certains faits que nous devons d'abord présenter au lecteur ; ce sera seulement lorsque nous les aurons exposés, que nous pourrons revenir sur l'explication la plus naturelle du phénomène d'endosmose.

Si les expériences de Dutrochet ont eu une grande influence sur la marche de la physiologie, il faut reconnaître cependant qu'elles n'expliquent pas tous les faits que nous présente l'organisation animale et végétale.

L'analyse chimique a démontré, par exemple, que toutes les plantes sont loin d'absorber dans le sol les mêmes substances minérales. Tandis que le grain de froment ne renferme guère dans ses cendres que des phosphates ; que la betterave, la pomme de terre sont avides de chaux et de potasse, le maïs ne renferme que très-peu de phosphate de chaux. La théorie de l'endosmose nous explique bien comment de l'eau peut pénétrer dans les racines, elle ne nous dit en aucune façon comment les plantes *choisissent* ainsi certains éléments nécessaires à leur développement.

Nous trouvons dans l'organisation animale des *choix* analogues; nous savons que les veines et les vaisseaux chylifères, les uns et les autres chargés de porter dans l'organisme les produits élaborés par la digestion, n'absorbent pas exactement les mêmes matières. Tandis que les vaisseaux chylifères se chargent surtout des matières grasses émulsionnées sous l'influence des sucs digestifs, les veines prennent les matériaux provenant de la digestion des matières amylacées et albuminoïdes. Enfin les phénomènes d'endosmose ne nous expliquent en aucune façon comment certaines glandes, baignées par le sang, peuvent faire une sorte de choix dans ces matériaux pour éliminer et rejeter au dehors certains produits, tandis que d'autres restent dans ce liquide.

Les travaux de M. Graham éclaircissent singulièrement quel-

ques-uns de ces faits encore mal expliqués ; s'ils ne donnent pas encore une solution complète de tous les phénomènes d'absorption et de sécrétion, ils révèlent des faits si nouveaux, qu'il importe de répandre les idées du célèbre chimiste anglais ; elles ne peuvent manquer de susciter de nouvelles recherches et d'engager ainsi la science dans une voie nouvelle et féconde.

II

Diffusion moléculaire. — Corps cristalloïdes et colloïdes. — Dialyse. — Applications.

Tout le monde sait que les matières volatiles exposées au contact de l'air s'évaporent avec une rapidité très-variable. Qu'on place dans des vases ouverts voisins les uns des autres de l'éther, de l'eau et du mercure, et on reconnaîtra que l'éther disparaît en quelques heures, que l'eau s'évapore plus lentement, que le mercure enfin ne s'évapore qu'avec beaucoup plus de difficultés ; ainsi les vapeurs de l'éther se diffusent dans l'air plus rapidement que celles de l'eau, et celles-ci beaucoup mieux que celles du mercure. Existe-t-il des effets analogues pour les corps solubles placés dans un liquide, en d'autres termes si l'on met au fond d'un vase de verre allongé et rempli d'eau diverses matières dissoutes, du sucre, de la gomme, du sel marin, du sulfate de soude, ces diverses matières se répandront-elles avec la même facilité au travers du liquide? Telle est la première question que s'est posée M. Graham et qu'il a facilement résolue ; il a trouvé que le sel marin, le sulfate de soude, le sucre, se répandaient assez rapidement dans tout le liquide ; qu'après quatorze jours, par exemple, la couche supérieure du liquide mise en contact avec la dissolution concentrée de sel marin, en renfermant déjà 1 pour 100 de la quantité totale, la proportion de sel contenue dans le liquide augmentait de la surface au fond, et les couches tout à fait inférieures étaient les plus riches; le sucre était parvenu aussi presque au sommet du liquide, dont les couches supérieures ne renfermaient cependant que 5, 8 ou 12 dix-millièmes ; enfin, dans le même temps, la gomme n'avait pu s'élever que jusqu'à la moitié du liquide environ; tandis que le sulfate de soude s'élevait à travers le liquide, l'albumine, le tannin, le caramel ne se *diffusaient* qu'avec la plus grande difficulté.

Ainsi toutes les molécules solubles ne jouissent pas au même degré de la propriété de se diffuser au travers d'un liquide ; les unes s'y répandent rapidement, sont très-mobiles, paraissent analogues aux liquides volatils aptes à une évaporation rapide, capables de se résoudre en vapeurs qui se diffusent dans l'atmosphère ambiante ; les autres, au contraire, se répandent plus difficilement au travers de la masse liquide dans laquelle ils sont placés ; ils peuvent être rapprochés des liquides volatils, ne s'évaporant pas spontanément, tels que l'acide sulfurique ou le mercure.

M. Graham a remarqué que les substances diffusibles présentent en général l'état cristallin, tandis que les matières peu diffusibles sont analogues à la gélatine, à l'albumine, n'ont pas de forme régulière ; il désigne ces dernières substances sous le nom de *colloïdes*, qu'il oppose à celui de *cristalloïdes*, qui sert à distinguer les substances diffusibles.

On peut mettre encore plus complétement en relief la différence de propriétés que présentent ces matières en les plaçant dans un appareil très-simple imaginé par M. Graham, et connu sous le nom de dialyseur ; c'est un tambour, un cylindre, dont le fond est formé par une feuille de papier sans colle altéré par une courte immersion dans l'acide sulfurique étendu ou dans le chlorure de zinc ; ce papier, connu sous le nom de parchemin végétal, est absolument dépourvu de toute propriété filtrante ; si on place sur lui un liquide, il n'en laisse point passer la moindre goutte, mais qu'on le fasse flotter sur l'eau, puis qu'on introduise dans le dialyseur un mélange d'un cristalloïde et d'un colloïde de sucre, et de gomme, par exemple, et on assistera à un phénomène curieux : après quelques jours, on trouvera dans le liquide extérieur tout le sucre introduit dans l'appareil, tandis que la gomme sera restée dans l'intérieur du dialyseur.

Ainsi, sous l'influence de cette seule force de diffusion, il y aura eu séparation complète entre les deux matières dissoutes ; l'une aura traversé l'appareil et se sera répandue au dehors, tandis que l'autre sera restée confinée dans le dialyseur.

On remarque encore ce fait important : tandis que les colloïdes, la gomme, l'albumine, le caramel, sont retenus dans le dialyseur, les cristalloïdes, sel marin, sulfate de soude, sucre, etc., se diffusent aussi rapidement quand ils sont enfermés dans le dialyseur que lorsqu'ils sont directement en contact avec l'eau.

Ainsi, et c'est là le fait essentiel, une membrane végétale ou animale baignée d'un côté par l'eau, de l'autre par une solution complexe, ne laisse pas passer indifféremment tous les éléments de cette solution complexe, mais, au contraire, en dégageant pour ainsi dire dans le liquide extérieur tous les corps cristallins, conserve intégralement tous les corps colloïdes.

L'analyse chimique profite d'abord de cette nouvelle propriété découverte par M. Graham. Qu'il s'agisse, par exemple, de préparer à l'état de pureté quelques-unes de ces substances gélatineuses si difficiles à purifier par lavage, alumine, oxyde de fer, silice en gelée, etc., rien ne sera plus simple désormais; ces matières, mélangées avec les corps cristallins qu'on a dû produire au moment de leur précipitation, sont placées dans le dialyseur, et, sans qu'on ait besoin de s'en occuper, peu à peu la force de diffusion entraîne au dehors du dialyseur toutes les matières cristalloïdes, laissant purs les colloïdes intérieurs.

Cette opération acquiert un nouvel intérêt dans les expertises de médecine légale. On sait que lorsqu'il s'agit de caractériser l'acide arsénieux, ce poison violent, au milieu d'un grand nombre de matières végétales ou animales, aliments, débris d'organes, etc., le chimiste-expert doit commencer par détruire toutes ces matières en les brûlant à l'aide de réactifs énergiques, acide sulfurique et acide nitrique; quand ces manipulations pénibles sont terminées, l'acide arsénieux est introduit dans le petit appareil à hydrogène connu sous le nom d'appareil de Marsh, l'acide arsénieux réduit transformé en hydrogène arsénié est enfin brûlé, et l'arsenic est reconnu, par l'aspect de la flamme et par les taches noires que laisse celle-ci sur une porcelaine blanche introduite au travers du gaz allumé. La première partie de ces manipulations sera avantageusement remplacée par le dyaliseur de M. Graham; en effet, l'acide arsénieux est un cristalloïde, et si on abandonne une matière complexe comme celle que nous avons décrite plus haut, formée de colloïdes (amidon, albumine, fibrine, etc.), avec de l'acide arsénieux dans un dialyseur, l'acide séparé des autres matières par la force de diffusion pourra être caractérisé par les combinaisons qu'il donne avec l'hydrogène sulfuré, ou bien encore la dissolution aqueuse séparée des matières organiques qui gênent les manipulations sera évaporée et introduite dans l'appareil de Marsh. La dialyse devient encore d'un plus haut intérêt

quand le poison qu'il s'agit de caractériser est d'origine végétale, comme la morphine, la strychnine, etc. Dans ce cas, en effet, il n'est plus possible de détruire violemment les matières organiques avec lesquelles le poison peut être mélangé, puisqu'il est lui-même d'origine végétale et ne résisterait pas au traitement énergique employé, quand la substance vénéneuse est très-stable. La dialyse vient encore ici au secours du chimiste ; le mélange empoisonné étant placé sur le dialyseur, on ne tarde pas à trouver dans le liquide extérieur le corps vénéneux dont la structure est toujours celle d'un cristalloïde.

Si l'analyse chimique reçoit ainsi de la dialyse une aide puissante, la physiologie pourra sans doute trouver dans les travaux de M. Graham l'explication de phénomènes encore plus importants et dont les causes sont encore bien mal connues.

Nous avons examiné dans un précédent article [1] les phénomènes de combustion dont l'organisation animale est le théâtre; nous avons vu que les aliments introduits dans la cavité digestive, élaborés, mêlés au sang, y rencontraient l'oxygène introduit par l'acte respiratoire, et y subissaient des combustions plus ou moins complètes. C'est à ces combustions que nous avons attribué, d'après Lavoisier, la cause de la chaleur animale. Quelques-uns des principes introduits sont complétement brûlés ; le charbon et l'hydrogène, transformés en acide carbonique et en eau, sont éliminés par les poumons ; mais ces combustions ne sont pas toujours aussi complètes.

De même que les chimistes, agissant sur de l'amidon ou du sucre, peuvent, par des moyens violents, les brûler complétement, et, en les combinant avec une quantité d'oxygène maxima, les transformer en acide carbonique et en eau, mais que dans certaines combustions moins vives, cet amidon et ce sucre donnent des produits intermédiaires, notamment l'acide oxalique [2], de même la combustion des matières amylacées et sucrées dans l'organisme peut donner naissance à de l'acide oxalique.

Les matières plastiques azotées sont aussi susceptibles d'être brûlées lentement dans nos appareils, de ne pas se décomposer

[1] Voyez plus haut, *la chaleur animale.*

[2] Il existe aussi dans la grande oseille qui appartient au genre *oxalis*.

simplement en acide carbonique, eau et azote, mais de donner des produits intermédiaires : urée, acide urique, acide hippurique, matières quaternaires comme l'albumine et la fibrine, mais modifiées profondément par l'action oxydante de l'air. Tous ces produits peuvent se rencontrer dans l'organisme par suite de ces combustions incomplètes. Enfin nos aliments renferment toujours des substances minérales qui viennent se fixer dans les tissus, tandis que d'autres sont éliminées. Cette élimination, comme celle de l'acide oxalique, souvent combinée à la chaux, comme celle de l'urée, de l'acide urique, hippurique, etc., a lieu par la sécrétion urinaire, qui se trouve ainsi dans une certaine mesure complémentaire de la fonction expiratoire des poumons ; ceux-ci étant chargés de rejeter les gaz et les vapeurs, acide carbonique et eau, celle-là débarrasse l'économie des produits liquides et des solides solubles, résidus, comme les premiers, de la combustion respiratoire.

Les physiologistes étaient arrêtés depuis longtemps devant l'explication du mécanisme de cette fonction; ils savaient bien que le sang chargé de différents principes, eau en excès, urée, etc., arrivait au contact des reins ; que bientôt ces glandes faisaient une sorte de choix entre les différentes matières existant dans le sang; tandis que les unes étaient éliminées, les autres, au contraire, persistaient. Ainsi les reins ne sont pas, comme on l'avait cru d'abord, des glandes sécrétant certaines matières spéciales ; ils ne produisent pas l'urée, ils l'éliminent, et la preuve en est que si on les enlève, on trouve que le sang des animaux est chargé, après l'opération, d'une quantité d'urée plus grande qu'avant l'ablation des organes.

L'action éliminatrice des reins était attribuée à la force vitale, à cette force inconnue dans son essence que les progrès des sciences doivent tendre à concentrer dans les plus étroites limites; on ignorait absolument quel pouvait être le mode d'agir de ce filtre spécial, intelligent, faisant une sorte de triage entre toutes les matières qui venaient se présenter à sa surface.

L'explication paraît aujourd'hui plus facile. Quelles sont les matières éliminées dans les conditions normales? Nous l'avons dit : c'est l'urée, l'acide urique, l'acide oxalique, puis des sels, toutes matières cristalloïdes, de sorte que les reins sont probablement un appareil dialyseur, qui laisse passer extérieurement les

matières cristalloïdes en retenant le sérum, les globules, etc., toutes matières colloïdes peu diffusibles.

« Les membranes animales, dit M. Milne Edwards[1], ainsi que les lames minces qui forment les parois des cellules sécrétoires, sont constituées par des substances colloïdes, et par conséquent l'eau, les sels, l'urée et les autres matières cristalloïdes qui se trouvent dans le plasma du sang, dont l'une des surfaces de ces tissus est baignée, doit tendre à y pénétrer, et à se répandre dans le liquide en contact avec la surface opposée. Par conséquent aussi, ces substances doivent tendre à s'échapper du sérum, tandis que l'albumine et les autres colloïdes qui peuvent accompagner ces matières dans le sang ne les suivent pas et restent dans le torrent de la circulation. La séparation qui s'opère ainsi, la dialyse de M. Graham, ressemble donc extrêmement à ce qui a lieu dans les glandes rénales, et il me paraît très-probable que l'élimination des principes urinaires dépend d'un phénomène du même ordre. »

Il faut bien se défier, quand se présente un nouvel ordre de faits, de vouloir en tirer l'explication naturelle de toutes les observations qu'on ne sait encore comment interpréter; mais s'il est imprudent de généraliser hors de propos, il ne faut pas cependant hésiter à rapprocher de leur explication possible les faits encore mal classés.

Nous avons vu que, parmi les matériaux élaborés par la digestion, les chylifères et les veines n'absorbent pas les mêmes substances. Nous ignorons la cause du départ qui s'établit entre eux. On a remarqué depuis la plus haute antiquité que le venin de certains serpents introduit directement dans l'appareil circulatoire occasionnait la mort, tandis qu'il n'avait aucun effet fâcheux quand il pénétrait dans le tube digestif. On peut sucer sans danger la plaie dans laquelle le venin s'est déposé. Comment expliquer cette différence d'action? Nous l'ignorons encore.

Les plantes, nous l'avons vu, puisent dans le sol des éléments différents; le froment s'empare de silice et de phosphate, les betteraves, de potasse et de chaux, le trèfle encore de potasse et de chaux; les varechs, constamment baignés par la mer, savent y

[1] *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*, tome VII, page 462. Masson, 1862.

recueillir la petite quantité d'iodures qui s'y trouvent mélangés à des masses considérables de chlorures. Nous ne savons encore donner aucune raison de ces choix exécutés par les parois des vaisseaux, par les cellules des plantes ; la dialyse peut-elle nous venir en aide?

M. Graham, jusqu'à présent, n'a guère poussé ses curieuses études qu'en faisant varier les matières qu'il s'agit de séparer ; si son dialyseur n'est pas resté complétement le même, il ne l'a pas cependant souvent changé. Il doit certainement songer à étudier l'influence qu'aura sur les phénomènes l'appareil dialyseur lui-même, et cette recherche pourra peut-être indiquer la solution de ces questions pendantes. Nous savons très-bien, en effet, que les liquides traversent, avec des rapidités très-différentes, les membranes de diverses natures. Si on enferme dans une vessie de porc de l'esprit-de-vin étendu d'eau, et qu'on expose cette vessie à l'air, l'esprit-de-vin se concentre de plus en plus par l'évaporation de l'eau à travers la membrane ; tandis qu'en mettant le liquide alcoolique dans une bouteille de caoutchouc mince, bien fermée et exposée à l'air libre, le contraire a lieu, c'est-à-dire que l'alcool traverse le caoutchouc et s'évapore pendant que l'eau reste dans la bouteille.

Qui nous dit que les parois des chylifères et des veines ne sont pas différentes dans leur structure, que ce ne sont pas les dyaliseurs différents? Si le venin des serpents ne pénètre pas dans l'organisme quand il est introduit par les voies digestives, n'est-ce pas que c'est un colloïde incapable de passer au travers de la paroi des veines? Si le froment absorbe la silice et les phosphates que repoussent le trèfle et la luzerne, si les varechs prennent plus d'iodures que de chlorures, n'est-ce pas que la structure de leur chevelu n'est pas identique, que ce sont encore des dyaliseurs différents?

M. Graham, avec un morceau de papier, partage les matières qu'il étudie en deux classes ; n'est-il pas possible que les tissus plus ou moins serrés, plus ou moins lâches que forment les organes des êtres vivants, fassent au milieu des colloïdes et des cristalloïdes des séparations que nos moyens grossiers ne nous permettent pas d'imiter?

Nous émettons ici des hypothèses, nous poussons beaucoup plus loin que ne l'a fait dans sa sage réserve le chimiste anglais ; mais

on peut écrire dans un article ce qui n'est pas de mise dans un mémoire académique; tandis que le savant, lorsqu'il expose ses recherches, doit se garder d'aller plus loin que l'expérience, il peut, quand il laisse la cornue et la balance pour prendre la plume et exposer les découvertes d'autrui, parcourir plus librement le vaste champ des inductions; il peut, comme l'avant-garde d'une armée, battre le pays devant lui, bien certain que ses hardiesses ne sauraient compromettre l'issue de la campagne, tandis qu'une pointe heureuse peut parfois faciliter la victoire.

Bien que M. Graham ait été très-réservé sur la dernière question, sur laquelle nous voulions appeler l'attention du lecteur, sur l'explication probable de l'endosmose que nous lui avons promise plus haut, nous pouvons cependant tirer des dernières réflexions qui terminent son mémoire quelques indications importantes. « Il me paraît, dit-il, que le mouvement de l'eau dans l'endosmose est une affaire d'hydratation et de déshydratation de la membrane ou du diaphragme colloïdal... L'endosmose est généralement très-active sur les membranes et autres septa fortement hydratés, lorsque l'endosmomètre contient une solution de quelque colloïde, de gomme par exemple. Par contre, la diffusion de ce colloïde est toujours très-faible et peut même parfois être nulle. Un colloïde insoluble, la gomme adragante, pulvérisé et placé dans l'endosmomètre, accuse le passage rapide de l'eau en se gonflant et en passant à l'état d'hydrate gélatineux. Il n'y a là aucun mouvement du dedans au dehors possible.

« Le degré d'hydratation des corps gélatineux est grandement influencé par la nature du milieu liquide dans lequel on les plonge. Cela s'observe très-clairement sur la fibrine et les membranes animales. Ces colloïdes s'hydratent bien plus fortement dans l'eau pure que dans les solutions salines neutres. Ainsi les deux faces d'un diaphragme endosmométrique ne sont pas hydratées au même degré. La face externe, en contact avec l'eau pure, tend à s'hydrater bien plus que la face interne; celle-ci, bien entendu, supposée en contact avec une solution saline. » Lorsque l'eau d'hydratation de la première a traversé toute l'épaisseur du diaphragme et qu'elle en atteint la surface interne, elle se trouve arrêtée si elle ne rencontre dans la cavité où elle pénètre une matière qui soit capable de l'absorber et de l'enlever à la membrane

endosmotique elle-même; si au contraire cette absorption a lieu, si la matière contenue dans la membrane est un colloïde présentant plus d'affinité pour l'eau que la membrane elle-même, elle dessèchera cette membrane qui empruntera à la couche interne l'eau qu'elle renferme; celle-ci agira de même sur la surface qui la touche, et de proche en proche il se produira dans toute l'épaisseur de la membrane un mouvement du liquide de dehors en dedans; on verra alors l'eau monter dans l'endosmomètre. Si en même temps le liquide placé dans l'appareil est susceptible de se diffuser, il pourra se répandre dans le liquide extérieur; il y aura par suite de la diffusion, un mouvement d'exosmose, et les deux liquides se rapprochant de plus en plus d'une composition semblable, tout mouvement s'arrêtera bientôt.

Nous l'avons dit souvent, les travaux de M. Graham n'en sont encore qu'au début, mais nous serons bien trompé s'ils ne servent à vérifier quelques-unes des idées de Dutrochet que nous avons rappelées au commencement de cet article, et si, grâce à eux, « l'on ne voit pas substituer à ces causes occultes et mystiques, à l'aide desquelles on explique des phénomènes vitaux, l'exposition des lois physiques auxquelles ils sont dus. »

P. P. Dehérain.

SCIENCES NATURELLES

I

LES REPTILES UTILES

SERVICES RENDUS A L'HOMME PAR LES REPTILES ET LES BATRACIENS. PRODUITS QU'ILS FOURNISSENT A L'INDUSTRIE.

Les reptiles sont les animaux qui inspirent, d'ordinaire, le plus de répulsion, et je dirai même le plus d'effroi. Cette crainte, il est vrai, n'est que trop souvent justifiée par les dangers terribles auxquels expose le venin de plusieurs serpents heureusement beaucoup moins nombreux que ceux dont l'homme n'a rien à redouter. Il faut bien reconnaître aussi que la sensation de froid éprouvée par la main qui touche les animaux de ce groupe ajoute à cette sorte d'horreur instinctive née du contact des crapauds, des grenouilles, des lézards ou des couleuvres. Si cependant on parvient à triompher du dégoût qui, relativement à la plupart de ces reptiles, n'est vraiment pas motivé, et de la frayeur qu'on doit éprouver seulement en face des espèces redoutables soit par leur venin, soit par leur grande force ou leurs instincts carnassiers, comme les crocodiles, on s'aperçoit bientôt qu'ils sont très-dignes de l'attention et de l'intérêt du zoologiste. Lorsque, en effet, on cherche à connaître les particularités de leur organisation, la manière dont leurs fonctions s'accomplissent, leurs habitudes et leurs mœurs, on trouve qu'ils présentent des modifications considérables des types les plus élevés du règne animal, je veux dire les mammifères et les oi-

seaux[1]. Les énumérer ici, même de la façon la plus sommaire, m'écarterait du but que je me propose. Je veux seulement rappeler comment les derniers de ces reptiles, qui forment une classe à part, sous le nom de Batraciens ou d'Amphibies, c'est-à-dire les Grenouilles, les Rainettes, les Crapauds et les Salamandres, offrent le spectacle le plus curieux au naturaliste quand il suit d'un œil attentif les diverses phases de leur vie, depuis le moment de la rupture des membranes fœtales jusqu'à l'entier développement.

Le jeune animal, au sortir de l'œuf, toujours instinctivement pondu dans l'eau, consiste en une petite masse presque globuleuse, terminée par une queue aplatie en forme de rame, et unique instrument de locomotion : le nom de Têtard est bien justifié par cette apparence générale.

Si vous vous hâtez de l'examiner aussitôt après son éclosion, vous verrez sur les parties latérales du cou quelques fines ramifications branchiales flottantes et rougies par le sang contenu dans leurs vaisseaux. Au bout d'un jour ou deux, souvent même quelques heures après la naissance, cet appareil accessoire de la respiration a disparu : il ne reste que les branchies internes bien développées entre lesquelles la dissection laisse apercevoir les premiers linéaments des poumons qui ne tarderont pas à se développer. En même temps, l'appareil branchial commencera à s'atrophier, et plus ce dépérissement des organes indispensables à la respiration aquatique fera de progrès, plus ils seront marqués, mais en sens inverse, dans le développement des poumons. Quand celui-ci sera achevé, les branchies auront disparu et le Batracien, qui a, de plus en plus, pris l'habitude de quitter sa résidence première, l'abandonnera tout à fait : il est devenu un animal terrestre et aérien.

Ce changement n'est pas le seul qui se produise en lui. Repre-

[1] A ces motifs de curiosité scientifique, ajoutez que cette classe d'animaux renferme les étranges reptiles de l'époque secondaire, c'est-à-dire les gigantesques *Ichthyosaures* et *Plésiosaures*, construits pour vivre au milieu des eaux ; les énormes espèces terrestres nommées *Mégalosaures*, *Iguanodontes* ; les grands *Labyrinthodontes*, à membres postérieurs beaucoup plus longs que les antérieurs, comme ceux des grenouilles ; les *Ptérodactyles*, qui étaient destinés à voler à la manière des chauves-souris ; tous ces représentants enfin de formes actuellement disparues, mais dont les débris fossiles attestent le rang que ces animaux bizarres devaient occuper dans la série.

nez l'observation au début de la vie, et vous assisterez à une série de modifications dont celle que je viens de rappeler n'est peut-être pas la plus surprenante. En effet, dans cette substitution d'organes de respiration aérienne à des organes de respiration aquatique, les branchies ne sont pas devenues des poumons. Il y a eu simplement dégradation d'un appareil transitoire, concomitant du perfectionnement d'appareils appelés à jouer un rôle permanent après les quelques semaines de vie passées au milieu des eaux. Voici, au contraire, des changements profonds au sein des organes eux-mêmes. Le Têtard à cette époque était herbivore : un petit bec corné lui permettait de couper les herbes dont il se nourrissait, et ces matériaux d'alimentation étaient reçus, de même que chez tous les animaux qui recherchent uniquement les végétaux, dans un tube digestif très-long. Bientôt cependant, comme permettent de le constater des autopsies de Têtards en voie de développement, répétées toutes les semaines, vous notez avec surprise sa diminution graduelle. La bouche, en même temps, se fend de plus en plus et elle perd son bec corné. L'intestin alors n'a plus quinze ou vingt fois la longueur du tronc, il n'en est que le double, tout au plus : il a donc complétement pris le caractère essentiel de celui des carnassiers, et il ne pouvait pas en être autrement, puisque le Batracien, modifiant peu à peu son régime, ne recherche plus maintenant que des proies vivantes. Ses allures, d'ailleurs, sont bien loin d'être restées ce qu'elles étaient : des pattes postérieures se sont d'abord montrées, et pendant que leur allongement s'effectuait, celles de devant venaient compléter l'appareil locomoteur.

Enfin, cette merveilleuse transformation est rendue plus frappante encore par la disparition lente mais continue de la queue, raccourcie chaque jour davantage, jusqu'à ce que le travail de résorption dont elle est le siége soit terminé. Vous avez alors sous les yeux un Batracien anoure, c'est-à-dire sans queue, soit un Crapaud, soit une Grenouille ou une Rainette, arrivé à son état de perfection et apte à se reproduire, sinon l'année de sa naissance, du moins l'année suivante [1].

[1] Le développement des batraciens urodèles, c'est-à-dire à queue persistante, comme les salamandres, est très-analogue à celui que je viens de décrire, et cependant un peu moins frappant en ce que l'appendice caudal ne

Si, à ce tableau sommaire des métamorphoses, qui ne fait connaître que des particularités anatomiques et physiologiques, je joignais quelques considérations sur les caractères fournis par les organes internes des Reptiles et des Batraciens, puis sur leurs caractères zoologiques ou extérieurs si singulièrement modifiés dans les principaux ordres de ces deux classes d'animaux, je fournirais des preuves surabondantes de l'intérêt très-réel offert par leur étude.

C'est ainsi que, dans mes cours au Muséum d'histoire naturelle, je n'omets rien de ce qui montre leurs analogies et leurs différences avec les autres animaux vertébrés. De plus, aussi, m'attachant à ne pas négliger le côté pratique de l'enseignement qui m'est confié, j'indique les ressources que l'homme peut tirer des Reptiles et des Batraciens. C'est une partie des applications de cette branche de la zoologie que je désire soumettre à l'attention des lecteurs de l'*Annuaire*. Plus tard, je compléterai ce sujet, qui demanderait aujourd'hui de trop longs développements.

Pour passer en revue les divers genres d'utilité, la meilleure marche à suivre est celle qui a été adoptée par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, dans l'énumération des services que nous rendent les Mammifères et les Oiseaux. C'est une heureuse idée de ce savant naturaliste, d'avoir formé cinq groupes où viennent nécessairement se ranger tous les animaux dont nous tirons parti. Ces groupes renferment :

1° Les *animaux accessoires ou de simple ornement;*

2° Les *animaux auxiliaires;*

3° Les *animaux industriels* ou fournissant des produits à l'industrie ;

4° Les *animaux alimentaires;*

5° Les *animaux médicinaux* ou procurant des médicaments à la thérapeutique, c'est-à-dire à cette partie de la médecine qui a pour objet le traitement des maladies.

Je voudrais aujourd'hui présenter quelques considérations sur les *reptiles auxiliaires* et sur les *reptiles industriels*[1].

disparaît pas et qu'il n'y a pas le même changement de régime. En outre, ce sont les membres antérieurs qui se montrent les premiers.

[1] Aucun reptile ne peut être considéré comme rentrant réellement dans le groupe des animaux d'ornement. Il y a cependant certains sauriens, tels

I

Reptiles auxiliaires.

Le nom d'animaux auxiliaires, comme le fait observer Isidore Geoffroy, convient à ceux qui sont élevés par l'homme pour les services directs qu'il en retire pendant leur vie, c'est-à-dire aux Mammifères soumis à la domestication. Si l'on s'en tient à la véritable acception de ce mot, on ne peut en faire usage pour les animaux dont il s'agit. Cependant, en laissant de côté l'idée de domestication, on est amené à se demander si, parmi les Reptiles et les Batraciens qui vivent autour de nous, on n'en trouve pas dont il serait avantageux d'utiliser les instincts carnassiers pour la destruction d'espèces nuisibles par leurs ravages dans nos habitations et dans nos cultures. Or, un certain nombre d'observations permet de faire à cette question une réponse affirmative.

Ainsi, les tortues terrestres, dont le régime est herbivore, recherchent cependant les insectes et les colimaçons, et, par cela même, sont utiles dans les jardins où l'humidité du sol attire ces mollusques; mais les Grenouilles et surtout les Crapauds remplissent bien mieux encore cet office. Ne se nourrissant jamais de matières végétales, ces Batraciens n'y attaquent pas les plantes qui ne sont pas toujours, il est vrai, à l'abri des Tortues, moins convenables, par ce motif, pour cette chasse dans les potagers que dans les parterres. Aux environs de Londres, par exemple, où les plus grands soins sont apportés à la culture maraîchère, on achète, afin de la rendre aussi fructueuse que possible, des Crapauds, à raison de six shellings la douzaine. On les répand en profusion dans les jardins, où ils font une grande destruction d'insectes nuisibles, de Limaces et de Colimaçons [1].

que les *Anolis* des Antilles ou les *Ameivas* des contrées chaudes de l'Amérique du Sud, qui peuvent le disputer aux plus élégants oiseaux de nos volières par le brillant éclat de leurs couleurs à reflets métalliques.

[1] Les batraciens tanoures s'emparent de leur proie d'une façon singulière, non avec les lèvres, mais avec la langue. Tout autrement attachée qu'elle ne l'est d'ordinaire chez les animaux vertébrés, son extrémité antérieure adhère au plancher de la bouche et la postérieure est libre. Par une sorte d'expuition,

A l'occasion d'un insecte coléoptère sans ailes, nommé *Otiorhynchus ligustici*, qui cause dans les vignes de très-grands dégâts, en détruisant pendant la nuit les bourgeons des jeunes plants, M. Rouget a annexé à un *Catalogue des coléopt. du départ. de la Côte-d'Or* (*Mém. acad.* Dijon, 2e série, 1857, t. VI, part. scientif., page 58) une note contenant des détails précis sur l'efficacité des services rendus par les Batraciens nocturnes. « Le véritable ennemi des insectes aptères, dit-il, le seul peut-être parmi les animaux vertébrés, est le Crapaud, que j'ai plusieurs fois observé le soir, attendant sa proie comme un chasseur à l'affût, et la saisissant, au moyen de l'organisation particulière de sa langue, avec laquelle il produit alors un petit bruit caractéristique. J'ai pu aussi, à la suite de l'ouverture de plusieurs de ces reptiles, me rendre compte de la quantité d'insectes détruits par eux. Ainsi, une heure seulement après celle où leur chasse a commencé, l'estomac de ces animaux contenait déjà vingt ou trente insectes. Il est facile, d'après ce résultat, de se faire une idée de ce qu'il peut être après la nuit tout entière, et même se rendre approximativement compte de la consommation d'insectes faite par un seul Crapaud pendant toute la belle saison. A la vérité, tous les insectes détruits ainsi ne sont pas nuisibles, mais ceux-ci néanmoins y entrent dans une notable proportion. »

« Si l'on réfléchit, ajoute ce naturaliste, que, en tout temps comme en tout lieu, le Crapaud a été la victime d'un préjugé ridicule, il est facile de comprendre de quelle influence a été sa destruction sur la multiplication de certains insectes nuisibles. Épargnez cet animal, laissez-le se reproduire à son aise dans les

l'animal la projette, forcément la renverse et en applique la face dorsale recouverte de mucosités sur l'objet qu'il veut saisir et qui est entraîné dans la cavité buccale par le retour de l'organe à sa position première. Avec une précision admirable, ne se méprenant pas sur l'espace qui le sépare de sa victime, le batracien la saisit à l'improviste. La rapidité de ce mécanisme est telle que l'œil a peine à suivre ce double mouvement de la langue. Celle du caméléon, beaucoup plus protractile, va également s'attacher à la proie par une subite projection. Elle s'allonge à ce point qu'elle peut être dardée à une distance égale au moins à la longueur du corps, mais elle ne se renverse pas comme chez les batraciens anoures. Quand on connaît l'étonnante lenteur des allures de cet étrange reptile, on comprend combien une arme semblable lui est utile pour s'emparer de loin des insectes qu'il ne pourrait atteindre sans ce puissant auxiliaire.

vignes, les dégâts causés par les insectes, les espèces aptères surtout ne tarderont pas à diminuer considérablement, s'ils ne cessent pas tout à fait. »

Ce ne sont pas seulement les Tortues et les Batraciens dont il convient d'utiliser les appétits presque insatiables pendant les chaleurs de l'été. Les Lézards et les Couleuvres peuvent rendre aussi de bons offices. « Au pied oriental du Jura, dit M. Nilolet, naturaliste suisse, dans une petite vallée assez humide où les Limaces et les Chenilles avaient élu domicile, je cultivais jadis un jardin clos de murs qui, vu l'innombrable quantité de ces animaux destructeurs, ne rapportait presque rien. J'eus l'idée d'en faire une espèce de ménagerie en y réunissant tous les animaux protecteurs que je rencontrais, et bientôt il fut difficile d'y faire un pas sans se trouver en présence soit d'une Couleuvre ou d'un Lézard, soit d'un Hérisson ou d'un Crapaud, tandis que de nombreux insectes coléoptères carnassiers, parcourant la surface du jardin, y trouvaient, sur tous les points, une abondante nourriture. Le résultat de cette expérience fut l'extinction complète des animaux nuisibles; limaces, vers blancs, chenilles, courtillières, tout disparut. Une magnifique verdure remplaça la chétive végétation qui existait auparavant; les arbres fruitiers restant couverts de feuilles purent donner de bons fruits, et le travail du jardinier fut diminué de toute la peine qu'il se donnait pour s'opposer à la destruction de ces produits. » (*Moniteur des comices* et *Science pour tous*, 1856, p. 12.)

Ces faits et bien d'autres inutiles à ajouter à ceux-ci témoignent de l'utilité de certains reptiles qu'on fuit avec frayeur ou qu'on tue sans pitié. Trop souvent, on méconnaît le rôle attribué à certains êtres de la création qui semblent inutiles ou dangereux. J'aurais encore plus d'un argument à fournir en faveur de cette assertion, si je voulais parler des services rendus à l'agriculture par des animaux qui, dans les campagnes, sont, plus encore que les Crapauds et les Couleuvres, l'objet d'une répulsion presque universelle. N'y regarde-t-on pas, en effet, comme bêtes de mauvais augure les oiseaux de proie nocturnes, tels que les Hibous, les Chouettes, etc., et les Chauves-souris? Sous le prétexte de dangers imaginaires auxquels leur présence expose, leur existence n'est-elle pas continuellement menacée, et ne se plaît-on pas quelquefois à les faire mourir au milieu de véritables supplices en les

clouant sur les portes des fermes avant de leur avoir ôté la vie? Et cependant ces Oiseaux et ces Mammifères, qui ne se nourrissent que d'espèces nocturnes, nous débarrassent d'insectes et de petits rongeurs extrêmement nuisibles dans les champs, les potagers et les vergers.

Au Sénégal, comme nous l'apprend le célèbre naturaliste voyageur Adanson dans le *Cours d'histoire naturelle* publié il y a quelques années seulement, on souffre volontiers dans les maisons les Lézards dits Geckos, parce qu'ils font leur principale nourriture des Blattes ou Cancrelats et des araignées qui y habitent toujours en grand nombre (t. II, p. 40)[1].

A Vara, dans le Brésil (*The Naturalist*, 1857, t. I, p. 175), on prend grand plaisir à élever le Boa constricteur, où il détruit les Rats dont ces régions sont infestées. De plus petits serpents débarrassent également, dans d'autres pays, de ces hôtes incommodes et nuisibles. Je citerai d'abord, par exemple, d'après M. le docteur Guyon (*Hist. chronolog. des épidémies du N. de l'Afr.*, 1855, p. 63), l'élégante couleuvre dite *Fer-à-cheval*, à cause du dessin qu'elle porte sur la tête (*Coluber hippocrepis*) qui se rencontre sur tout le littoral de l'Algérie et dans le Tell jusqu'au milieu des demeures où elle fait aux Rats et aux Souris la chasse la plus active.

Catesby, Bartram, ainsi que nos compatriotes Palissot-Beauvois et Bosc, ont tous parlé de l'utilité, aux États-Unis, de la Couleuvre bien connue sous le nom de *Coluber* (*Coryphodon*) *constrictor*. Elle est mince et effilée, mais peut arriver à une longueur de près

[1] Les geckos offrent cette singularité, qu'ils peuvent, de même que les mouches, monter sur les plans verticaux les plus lisses et marcher en se tenant le ventre tourné en haut et le dos en bas. Ils ont, en effet, comme ces insectes, le dessous des doigts garnis de lamelles se recouvrant mutuellement avec régularité à la manière des tuiles d'un toit et dont la flexibilité permet leur application exacte sur les corps auxquels l'animal veut adhérer. Aucune molécule d'air ne s'interpose aux surfaces en contact, et rien, par conséquent, ne contre-balance l'action de l'atmosphère qui presse de tout son poids sur le gecko, dont la chute est, par cela même, rendue impossible. C'est par un semblable mécanisme que les grenouilles d'arbre ou rainettes, dont chaque doigt est muni à son extrémité d'un disque mou et charnu, s'attachent et se suspendent à la partie inférieure des feuilles. Qui ne voit ici une analogie frappante avec la rondelle de cuir mouillé, traversée au centre par une cordelette est fixée et dont les enfants se servent pour enlever la pierre sur laquelle ils l'ont fixée à coups de talon?

de trois mètres. Elle rampe avec une grande rapidité, grimpe sur les arbres et pénètre partout dans les maisons, même sur les toits, afin de poursuivre les Oiseaux, les Écureuils et les Rats. On ne la craint pas, et, dans quelques habitations de la campagne, on ne cherche pas à la détruire, parce qu'elle est fort utile pour protéger les grains et les fruits en éloignant les Souris et les autres animaux nuisibles.

Le voyageur hollandais Gaultier Schouten raconte, et son récit a été confirmé par d'autres voyageurs, que, parmi les Serpents de la côte de Malabar, il y en a un nommé *Preneur de Rats*, qui rend dans les maisons, où il établit volontiers son gîte, les mêmes services que le Chat; car il recherche pour sa nourriture les Rats et les Souris. C'est par ce motif que les Indiens placent presque toujours sur les navires quelques-uns de ces serpents pour protéger les marchandises embarquées, particulièrement le riz, contre les attaques de ces petits Mammifères, qui, sans cette précaution, pulluleraient à bord (*Hist. génér. des voyag.*, t. XI, p. 459) [1].

Il n'est pas jusqu'aux reptiles les plus redoutables pour l'homme qui ne soient, dans certains pays, appelés à lui rendre indirectement des services très-réels.

Je citerai, à cette occasion, un passage d'un livre fort intéressant publié par un habile médecin de la Martinique, M. le docteur Rufz de Lavison. Douloureusement frappé du nombre considérable et de la gravité des accidents causés, chaque année, dans cette île par le redoutable serpent trigonocéphale dit *Fer de lance* (*Bothrops lanceolatus*), il a étudié, au point de vue du traitement à leur opposer, les effets du venin, et a recueilli tous les documents qui se rattachent à l'histoire de ce reptile et aux tentatives faites pour sa destruction. Il a intitulé son ouvrage, précieux par les renseignements qu'il contient, *Enquête sur le Serpent*, et en a publié une seconde édition en 1859, depuis son retour en France. Or, on

[1] A l'occasion des serpents de l'Inde, peut-être convient-il de rappeler ce que Lacépède, en amplifiant une phrase du texte qui accompagne le grand recueil de planches publié dans le siècle dernier par Séba, dit de la couleuvre des dames (*Coluber domicella*, Linn.), espèce dont il est difficile de donner une détermination précise. « Les dames de la côte de Malabar la mettent dans leur sein et l'y conservent sans crainte et même avec plaisir. Elles la tournent et la retournent dans le temps des chaleurs pour en recevoir une sorte de service et être rafraîchies par le contact de ses écailles trop polies pour n'être pas fraîches. » (*Hist. nat. des Serpents*, tome II, page 180.)

y lit, à la page 20, que la principale nourriture de cet animal est le Rat. « C'est, dit l'auteur, la proie que j'ai trouvée le plus souvent dans son estomac ; j'en ai retiré jusqu'à six à la fois. Peu de Chats en font une plus grande consommation ; comme les Rats sont ici de grands destructeurs de cannes à sucre, j'ai ouï dire que le chevalier de P.... préférait trouver dans ses cannes des Serpents plutôt que des Rats, et qu'il les appelait plaisamment la *maréchaussée de ses cannes*. Le même propos m'a été tenu par beaucoup d'autres colons. Un habitant distingué de la Guadeloupe, M. M.-M...., parfaitement au fait de la culture dans les deux colonies, m'a assuré qu'avec les mêmes conditions de halliers et de falaises dans le voisinage d'une pièce de cannes, les Rats, à la Guadeloupe, font dix fois plus de dégâts qu'à la Martinique. On ne peut s'en préserver que par une guerre continuelle. Voici donc que les Serpents peuvent trouver une application utile, non que les Guadeloupiens en voulussent à ce prix, mais ils ont leur bon côté. Il ne s'agit peut-être que de savoir s'en servir[1]. »

[1] Je mentionne simplement en note une assertion du naturaliste anglais, Griffith (*Animal Kingdom*, Rept., t. IX, p. 189, 3), qui dit que les crocodiles sont conservés en grand nombre dans les fossés de Batavia par les Hollandais dans un double but. Ils espèrent ainsi empêcher la désertion de leurs soldats, qu'ils enrôlent de force pour la plupart, et opposer un obstacle aux attaques nocturnes de la population extérieure à la ville, qui supporte avec peine la domination étrangère.

C'est à peine si j'ose faire entrer dans le cadre que je me suis tracé les dangereux auxiliaires dont Annibal fit usage lors d'un combat sur mer qu'il livra à Eumènes, roi de Pergame, allié des Romains. Il fit recueillir, comme Cornélius Népos le raconte (*Hannibal*, cap. x et xi), et enfermer dans des vases de terre tous les serpents en vie qu'on put se procurer. Au moment où, pendant le combat, la flotte d'Eumènes pressait vivement la sienne, le Carthaginois fit tout à coup lancer les vases sur les vaisseaux des ennemis. Tout d'abord, ceux-ci ne firent qu'en rire, ne comprenant pas dans quel but on les leur jetait ; mais ils eurent à peine aperçu les serpents qui remplissaient leurs navires que, saisis d'effroi à la vue d'un spectacle si nouveau et d'un danger qu'ils ne savaient comment conjurer, ils prirent la fuite et se réfugièrent dans le camp de leur flotte. Voilà par quel stratagème, ajoute l'historien, Annibal triompha des armes de Pergame. Souvent, dans ses expéditions, il employa de semblables ruses et toujours elles eurent même succès.

Si les nécessités de la guerre expliquent peut-être jusqu'à un certain point, mais sans la justifier, la ruse dont il s'agit ici, comment concevoir la froide méchanceté de l'empereur Héliogabale qui fit servir les vipères à la satisfaction de ses instincts cruels. « Il ouyt dire, raconte Plutarque (trad. Amyot, éd. Clavier, *Hommes illustres*, Héliogabale, chap. xxviii, t. X, p. 462), qu'il y avoit

D'autres reptiles, mais je ne parle plus ici que d'espèces absolument inoffensives, peuvent avoir leur utilité. Les Tortues terrestres, par exemple, ont certaines habitudes qu'il est bon de connaître, afin d'en tirer parti. Celle que je veux signaler paraît bizarre. Elle consiste dans le soin que prennent ces animaux de chercher, pendant la pluie, un refuge dans un lieu où ils soient parfaitement à l'abri. Le révérend Gilbert White, qui, sous la forme de lettres pleines d'observations judicieuses et intéressantes, a écrit, vers la fin du siècle dernier, un livre fort estimé en Angleterre (*The natural history of Selborne*) [1], possédait une Tortue dont il a très-bien fait connaître le genre de vie. « Rien dans ses allures, *Letter* XIII, seconde série), ne m'a plus constamment étonné que l'extrême crainte d'être mouillée qu'elle ne manque jamais de laisser paraître. Quoique renfermée dans une boîte assez solide pour la protéger contre le poids d'un lourd chariot, elle se montre tout aussi préoccupée de ne pas recevoir la pluie que pourrait l'être une dame en ses plus beaux ajustements. Dès les premières gouttes, elle se hâte de rentrer la tête. »

Or, si l'on tient compte de cette particularité, et c'est là le fait sur lequel je désire appeler l'attention, on ne tarde pas à s'apercevoir, selon la remarque de White, que cet animal peut très-bien servir de baromètre en annonçant à l'avance s'il pleuvra ou si, au contraire, le temps restera sec. On ne doit pas douter, suivant lui, qu'il y aura de la pluie avant la nuit quand, le matin, la Tortue s'avance avec une démarche altière, le jarret tendu, si l'on peut s'exprimer ainsi, le plastron éloigné, par cela même, du sol, et se hâte de manger comme dans la prévision que, plus tard, elle ne pourra pas faire son repas.

Les Tortues d'eau douce qui habitent les mares de la Cafrerie sont considérées, dans ce pays, comme pouvant annoncer quel temps se prépare. Nous l'apprenons par le célèbre naturaliste et

des prestres à Marseille qui enchantoient et prenoient toutes sortes de serpens, pour grands qu'ils fussent, lesquels envoya querir et leur manda qu'ils portassent le plus qu'ils pourroient de serpens. Un jour qu'il avoit faict assemblée de peuple pour certains jeux, feit mettre tous ces serpens parmy la foule des assistans, dont plusieurs furent morts, et tués de la presse en fuyant, et beaucoup de femmes enceintes avortèrent de frayeur. »

[1] Selborne, où White prit naissance, est un village dans lequel il a passé la plus grande partie de sa vie, au milieu de travaux littéraires et d'études sur les productions de la nature.

voyageur Thunberg. Il fait mention de cette particularité dans la portion de son journal relative au séjour qu'il fit sur les côtes de l'Afrique australe en se rendant au Japon. « Quelques particuliers, dit-il (*Voyages*, trad. Langlès, t. II, p. 3), se plaisent à conserver de ces Tortues dans des vases remplis d'eau pour les transporter où l'on veut. On prétend que, quand il doit tomber de la pluie, les Tortues montent vers le haut du vase. »

Les Grenouilles d'arbre ou Rainettes l'annoncent également par leurs coassements. Plutarque, dans son traité *Quels animaux sont les plus advisez*, Œuvres mêlées, trad. Amyot, éd. Clavier, t. II, p. 164, dit : « Quand les Grenouilles sentent la pluye venir, elles chantent d'une voix plus claire, et cela est un des plus certains signes qui sçauroient estre de pluye. » Il dit encore dans son traité *Des causes naturelles*, id., p. 227 : « Les Grenouilles, sentans la pluye venir, en chantent de joye plus haultement et en renforcent leurs cris, s'attendans bien qu'elle adoulcira les eaux croupissantes de leurs marets, et leur sera semence de doulceur : car Aratus mesme compte ce signe-là entre les signes et présages de la pluye, disant :

> Lors des serpens la misérable proye
> Crient très hault, les grenouilles de joye.

On peut donc, comme dit Roesel, l'auteur d'un très-beau livre sur les Batraciens, se faire un hygromètre ou un hygroscope vivant en mettant un de ces animaux dans un vase où l'on a soin de lui donner de l'eau et des insectes pour sa nourriture. Un chirurgien de Breslau, ajoute-t-il, a gardé ainsi une même Rainette pendant sept années consécutives. On a parfois occasion de voir un ou plusieurs de ces animaux conservés dans le but que j'indique et munis dans leur prison de verre d'une petite échelle dont l'ascension par la Rainette donne lieu de supposer que le temps restera sec. Un prochain changement nous est bien souvent annoncé dans la ménagerie par le bruyant coassement de ces animaux à l'approche de l'orage.

C'est ici le lieu de rappeler quelques paroles prononcées par M. le maréchal Vaillant devant l'Académie des sciences à l'époque où y fut discuté le projet d'établir de nombreux postes d'observations météorologiques sur toute l'étendue de l'empire et sur nos possessions de l'Afrique septentrionale. Il disait, en in-

sistant sur la nécessité d'observations de ce genre dans notre colonie, alors même qu'elles n'auraient pas une exactitude scientifique absolue : « *La Grenouille du père Bugeaud*, aussi bien que sa *casquette*, égaye encore aujourd'hui les bivouacs de nos soldats en Afrique. Ce grand homme de guerre, qui a tant fait pour l'Algérie, *ense et aratro*, consultait sa Rainette avant de mettre ses troupes en marche pour une expédition. » (*C. rendus, Acad. des sciences*, 1855, t. XLI, p. 1145.)

Je dois enfin, pour achever cette revue des services que les Reptiles et les Batraciens peuvent rendre à l'homme, rappeler que la superstition a, plus d'une fois, attribué à ces animaux un pouvoir et une influence qu'ils ne possèdent point en réalité. Ce sont des services imaginaires qui ont motivé certains cultes [1].

Ainsi, les allures singulières du *Naja* ou *Serpent à coiffe*, qui relève brusquement toute la partie antérieure du tronc et élargit son cou, en prenant une posture menaçante, ont fait croire aux anciens Égyptiens qu'il gardait les champs où il avait établi sa demeure. En conséquence, il devint pour eux l'emblème de la divinité protectrice du monde. Ils le sculptaient aux deux côtés d'un globe, sur le portail de tous leurs temples. Les Indiens eux-mêmes, par suite de semblables croyances, rendent un culte à leur Naja. Ils ont une multitude de statuettes exécutées avec plus ou moins d'art, le représentant dans sa position favorite.

Quant aux hommages rendus en Égypte au crocodile de petite taille, considéré par Ét. Geoffroy Saint-Hilaire comme une espèce distincte, sous le nom de Crocodile sacré (*Crocodilus suchus*), mais qui n'est qu'une variété de l'espèce ordinaire, ce naturaliste paraît avoir bien saisi les motifs du culte dont ce reptile était l'objet. « Les Égyptiens, dit-il, poursuivaient et détestaient les grandes

[1] Les sauriens ou lézards de grande taille, nommés *tupinambis* ou *varans*, ne sont pas vénérés comme des divinités ; mais les noms de *sauve-gardes*, de *sauveurs*, de *monitors*, qui leur ont été donnés fréquemment, sont autant de preuves de la réputation de douceur et presque de bienfaisance qu'on leur a faite en divers pays. On prétend que lorsque des hommes se trouvent, à leur insu, menacés par le crocodile, le tupinambis s'empresse de les avertir par des cris de la présence du redoutable quadrupède ; mais, comme Ét. Geoffroy Saint-Hilaire le fait observer avec raison (*Reptiles d'Égypte*, p. 7), ce ne sont que des cris d'alarme par lesquels le sauve-garde exprime son effroi à la vue d'un ennemi non moins dangereux pour lui-même que pour l'homme.

espèces, dont ils éprouvaient journellement de grands dommages. Ils cédaient, au contraire, à un mouvement tout naturel de gratitude quand ils épargnaient la petite espèce. En effet, celle-ci est inoffensive; elle voyage, chaque année, avec les eaux de l'inondation; elle porte ainsi dans les contrées éloignées du fleuve la nouvelle de la crue du Nil; enfin, qu'elle arrive un peu plus tôt que de coutume, et l'on compte sur une plus grande inondation, sur une moisson plus abondante : ceci explique le bon accueil que l'on faisait à cette petite espèce, son nom de *crocodile sacré*, les honneurs divins qu'on lui rendait.» (*Descript. des Rept. d'Égypte; Croc.*, p. 96.) « C'était donc comme une mission qui lui avait été confiée, ajoute-t-il plus loin (p. 138); elle aura fixé l'attention des peuples, et dans cet esprit, en effet, son culte, c'est-à-dire tous les sentiments d'affection que supposent de pareils hommages, ne pouvaient être inspirés et ne convenaient véritablement qu'à des hommes souffrant d'un soleil brûlant et fatigués de la durée de la sécheresse. Or, telles étaient les populations des villes consacrées au *suchus*, des diverses *Crocodilopolis* bâties sur la lisière du désert; le fleuve en était éloigné par un grand circuit et baignait le pied des hauts plateaux opposés. » Enfin, « sous le symbole du crocodile, objet de leur culte, dit-il encore (p. 139), ils entendaient spécifier les avantages dont ils allaient être redevables à l'avénement des nouvelles eaux leur apportant le bienfait, pour eux d'une boisson plus salutaire, et pour leurs champs d'un arrosement profond et vivifiant; ce qu'ils imaginèrent d'exprimer, dans l'écriture hiéroglyphique, par des bateaux que des crocodiles s'occupaient à remorquer. » « Sa non-apparition, en raison des basses eaux, était donc le signal d'une affreuse stérilité, était déplorée comme un malheur public, considérée comme le plus douloureux événement. » (P. 141.)

Ici, du moins, en acceptant ces explications de l'illustre naturaliste, on peut dire avec lui que « la raison humaine est affranchie du reproche d'absurde superstition. »

Il n'en est plus de même, au contraire, dans certaines habitudes que rien ne justifie, entre autres celle des Arabes, de porter suspendue au cou, comme une amulette, la peau d'un caméléon séchée, dans la croyance qu'ils se préservent ainsi des influences du mauvais œil (Shaw, *Voy. dans la régence d'Alger*, trad. fr., 1830, p. 57).

C'est également une superstition singulière que celle des Chinois, qui nous est racontée par Sonnerat, dans ses *Voyages aux Indes Orientales et à la Chine* (t. II, p. 512). « Ils n'entreprennent rien, dit-il, sans avoir consulté les caractères de Confucius et brûlé devant sa figure une bougie de sandal, de même qu'un morceau de papier doré ; d'autres consultent la tortue ou la fève, sorte de forme brisée qu'on jette en l'air pour voir si les deux pièces dont elle est composée tomberont du même côté. Ces trois choses, ajoute Sonnerat, sont regardées comme très-essentielles et font agir les trois quarts des Chinois. »

II

Reptiles iindustriels ou fournissant des produits à l'industrie.

Afin de procéder avec ordre dans l'exposé des faits que ce sujet comporte, je m'occuperai successivement dans leur rang zoologique et naturel des trois ordres compris dans la classe des reptiles : 1° les tortues ou chéloniens ; 2° les lézards ou sauriens ; 3° les serpents ou ophidiens.

1° *Chéloniens ou tortues.* — Les peuples chélonophages dont ce n'est pas ici le lieu de parler, mais qui avaient reçu ce nom de l'emploi qu'ils faisaient, comme aliment, des tortues de mer, se servaient de la carapace de ces animaux pour des usages que Pline nous fait connaître (*Hist. natur.*, lib. IX, cap. XII, I) : « La mer des Indes produit des tortues d'une telle grandeur que l'écaille d'une seule suffit pour former le toit de cabanes habitables ; la navigation des îles de la mer Rouge se fait particulièrement avec ces écailles, qui servent de barques. » (Trad. Littré.)

Diodore, au reste, avait déjà donné des détails sur ce sujet après la description de la pêche de ces grandes tortues par les Chélonophages. « Ils se servent des écailles, qui ont à peu près la forme d'une barque, soit pour se transporter sur le continent, où ils vont chercher de l'eau douce, soit pour s'en faire une sorte de hutte, en les plaçant dans une position inclinée sur les lieux élevés, et le côté plat tourné en dehors. Ainsi la nature, par un seul bienfait, semble leur avoir donné les moyens de satisfaire à une foule de besoins, puisqu'ils trouvent à la fois dans un même objet un ali-

ment, une maison, un vase et un navire. » (Liv. III, chap. XXI, trad. de Miot de Melito.)

Guill. de Salluste, seigneur du Bartas, poëte contemporain de Henri IV, a dit dans son curieux poëme de *la Sepmaine ou création du monde*, 5ᵉ jour, page 144, vers 19 et suiv.; éd. de 1582 :

> A peine le marchand de Lisbonne ou de Tyr
> Peut une seule nef de maint arbres bastir.
> Mais l'Arabe pescheur bastit tout un navire
> D'une seule tortue, et, mesnager, retire
> D'elle tant de profits, que son couvercle fort
> Luy sert de nef sur l'eau et d'hostel sur le port.

Adanson (*Cours d'histoire naturelle* fait en 1772, et publié en partie en 1845) s'exprime ainsi, à l'occasion de la grande tortue de mer nommée *Sphargis coriacea :* « On dit que les nègres, au Sénégal, se servent du test de cette tortue comme de canot, pour naviguer sur les rivières, et que les habitants de l'île Kaprehane (*sic*) en font couvrir le toit de leurs maisons. » (12ᵉ séance, t. II, p. 27.) On trouve les mêmes indications dans le récit des voyages de Dampier.

La taille des tortues de mer est, en effet, quelquefois assez considérable pour qu'il ne paraisse pas impossible d'employer ainsi leur carapace. Sa longueur, chez les Chélonées ordinaires, est parfois de 2 mètres sur 1ᵐ,50 de large. On a vu la grande tortue de mer à cuir, dite *Sphargis*, mesurer, sur une semblable largeur, 2ᵐ,60.

Dans l'Amérique du Sud, la carapace des chéloniens sert de siége à certaines peuplades. Alex. de Humboldt, dans le remarquable et intéressant récit de son *Voyage aux régions équinoxiales*, a fait un triste tableau des sauvages de l'Orénoque. « On aime à se persuader, dit-il, que ces indigènes accroupis près du feu ou *assis sur de grandes carapaces de tortues*, le corps couvert de terre et de graisse, fixant stupidement leurs yeux pendant des heures entières sur la boisson qu'ils préparent, loin d'être le type primitif de notre espèce, sont une race dégénérée, les faibles restes de peuples qui, après avoir été longtemps dispersés dans les forêts, ont été replongés dans la barbarie. » (Livre VII, chap. XIX, t. VI, p. 316.)

Quand la carapace bombée des tortues de terre est peu volumineuse, elle peut être utilement employée comme vase. « Elle sert

à nos soldats, en Algérie, pour puiser de l'eau aux sources et aux rivières. C'est une coupe naturelle très-prisée du soldat, parce qu'elle n'est exposée ni à se briser, ni à se déformer, et qu'il porte suspendue à une boutonnière de sa capote[2]. » (D[r] Guyon, *Hist. chronolog. des épidémies du N. de l'Afr.*, 1855, p. 63.)

Les tortues, en Prusse, dit Wulff (*Ichth. cum amphib. regni Borussici meth. Linn. dispos.*, 1765, p. 3), sont conservées dans les vases où l'on dépose la nourriture pour les porcs. On pense que cette habitude est favorable à l'engraissement.

Je ne dois pas omettre de rappeler ici que la lyre, qui est considérée comme le plus ancien des instruments à cordes, fut inventée, dit Pausanias (*Collect. de voy.*, Charton, t. I, p. 346), par Mercure, qui, ayant trouvé une tortue sur le mont Chelydorea, en Arcadie, en fit une lyre, après en avoir enlevé les organes intérieurs. Suivant une autre tradition mentionnée par Hawkins, et que le docteur Bell rappelle (*Hist. of brit. rept.*, p. 14), c'est sur les bords du Nil, après le retour des eaux dans leur lit, à la suite d'une inondation, que Mercure aurait trouvé sur le rivage une carapace de tortue; débarrassée de son plastron, elle serait devenue un instrument sonore entre les mains du dieu, qui y fixa des cordes vibrantes[2].

[1] Il est question ici d'une espèce très-abondante dans nos possessions algériennes et dont la chair est assez agréable, la *Tortue mauritanique*.

[2] Ce récit fut généralement accepté comme vrai dans l'antiquité. Homère y fait allusion dans son Hymne à Mercure, et Horace (*Odes*, liv. I, ode x) rappelle cette invention :

Mercuri...
Te canam, magni Jovis et Deorum
Nuntium, curvæque lyræ parentem.

Suivant Lucien, cependant, ce n'est pas à Mercure que cette invention doit être attribuée, mais à Apollon, qui, ayant trouvé une tortue morte, ajouta à la carapace, dit l'historien grec, des bras qu'il réunit par une traverse; elle lui servit pour fixer à l'extrémité supérieure des cordes, qu'il attacha par l'autre bout à la carapace, et il obtint ainsi une puissante harmonie.

Les poëtes ont souvent employé le mot *testudo*, comme synonyme de lyre :

O decus Phœbi, et dapibus supremi
Grata testudo Jovis...

« O lyre, gloire d'Apollon, toi dont la douce harmonie charment les banquets de Jupiter, » (dit Horace, liv. I, ode XXXII.)

Poursuivons l'examen des divers genres d'utilité des tortues.

C'est surtout relativement à l'emploi fait par l'industrie des grandes plaques fines, solides et transparentes dont leur carapace est recouverte, qu'elles doivent fixer notre attention.

Non aliter Samio dicunt arsisse Bathyllo
Anacreonta Teium
Qui persæpe cava testudine flevit amorem.

« Ainsi, dit-on, brûla pour Bathylle le vieillard de Téos, Anacréon, qui sur une lyre mélodieuse, bien souvent, pleura son amour. » (Id., *Épodes*, ode XIV.)

Tuque, testudo, resonare septem
Callida nervis.

(Id , ode XI du liv. III, adressée à Mercure, où il invoque « la lyre harmonieuse aux sept cordes. »)

Enfin (*De arte poetica,* vers 394), on lit :

Dictus et Amphion Thebanæ conditor arcis
Saxa movere sono testudinis...

De là sont nés ces bruits reçus de l'univers
. . . .
Qu'aux accords d'Amphion les pierres se mouvaient.

BOILEAU, *Art poétique*, chant IV.

Virgile, dans le récit qu'il fait de la douleur d'Orphée pleurant Eurydice (*Georg.*, lib. IV, vers 463), dit :

Ipse, cavâ solans ægrum testudine amorem.

« Là, seul, touchant sa lyre et charmant son veuvage.

DELILLE

Properce (ode XXXIV, liv. II, v. 79), s'adressant au poëte Lyncée, s'exprime ainsi :

Tale facis carmen docta testudine, quale
Cynthius impositis temperat articulis.

« Tu composes des chants pareils à ceux qu'Apollon module sur sa docte lyre. »

« O toi ! dit Horace, dans son ode à Melpomène (liv. IV, ode III), qui modères le doux frémissement de ma lyre :

O testudinis aureæ
Dulcem quæ strepitum, Pieri, temperas.

Ces vers sont suivis de deux autres, qui semblent n'avoir pas de rapport avec le sujet qui nous occupe :

O mutis quoque piscibus
Donatura cycnis, si libeat, sonum!

Cependant, si l'on en cherche la véritable signification, comme le fit, il y a cent soixante ans, l'Anglais Thomas Molyneux, on leur trouve un sens qui se rattache à l'emploi de la carapace des tortues, par le premier inventeur de la lyre.

Le travail de Molyneux, dont il s'agit ici, a été analysé par un savant ecclé-

Je ferai d'abord observer que les tortues de mer fournissent seules la matière précieuse dont il s'agit ici, et qui porte le nom d'écaille. Parmi ces dernières même, le revêtement écailleux de la *Tortue franche* (*Chelonia Mydas*), surtout recherchée comme ali-

siastique, M. l'abbé Bonhomme, aumônier des Gobelins. Ce travail a pour titre : *A letter to the Right Reverend St George Lord Bishop*, etc. (*Philosophical transactions*. 1702, t. XXIII, p. 1267-1278), avec une planche fig. 1 et 2, représentant un camée antique sur lequel était gravée une lyre faite avec une carapace. Il me semble intéressant de donner un extrait de l'analyse que j'indique.

Les interprètes s'accordent à traduire ces vers, comme si Horare avait voulu dire que Melpomène donne, s'il lui convient, le chant du cygne, même aux poissons muets. Or, Molyneux trouve ce sens peu digne d'Horace; des poissons qui chanteraient, comme on croyait que chantent les cygnes, évidemment cette supposition prise à la lettre n'est pas admissible; ce serait un de ces excès que condamne lui-même l'auteur de l'Épître aux Pisons. Est-ce une métaphore pour relever la puissance de Melpomène? mais elle est dépourvue de la condition essentielle de toute métaphore, l'analogie. En effet, quel rapport y a-t-il entre un poisson et la musique qui exprime les pensées, les sentiments de l'inspiration poétique? Ce n'est pas non plus l'exclamation de la modestie du poëte, se comparant aux poissons.

Réfutant ainsi les traducteurs qui semblent avoir été tous d'accord, mais contre lesquels il proteste, Molyneux cherche à s'expliquer la signification de ce passage. Suivant lui, *mutis quoque piscibus* est une périphrase ou un synonyme de *testudo*. En conséquence Horace, dans sa louange de Melpomène, établit une gradation : La Muse accorde ses chants harmonieux à la lyre d'or, c'est-à-dire aux poëtes dont la renommée est faite ; mais il y a d'autres lyres qui se taisent encore, et Melpomène, si elle le veut, saura leur donner le chant du cygne : *aureæ* d'une part, et *mutis* de l'autre, établissent la différence nécessaire pour qu'il y ait progrès dans le développement de la pensée. Horace, dans ce passage, au reste, se borne à imiter le poëte grec Nicandre, qui vivait cent ans avant lui, et chanta dans ses vers la découverte de Mercure. Ce dernier, en effet, dit que le dieu rendit la tortue parlante, de muette qu'elle était.

Relativement à l'emploi du mot *piscis* comme synonyme de *testudo*, on se l'explique, par la confusion longtemps faite entre tous les animaux qui vivent dans l'eau, et qui tous étaient indistinctement nommés poissons.

Enfin, Molyneux termine ses éclaircissements en faisant observer que, dans l'origine, les musiciens ont fait les instruments dont ils se servaient avec les matériaux qui étaient le plus à leur portée. En conséquence, ils ont employé et la tortue terrestre et la tortue de rivière, comme, plus tard, la tortue marine et exotique; suivant les progrès du commerce et du luxe, d'autres matières auront été utilisées, et la lyre, malgré les perfectionnements apportés à sa construction, aura néanmoins conservé son nom primitif. De même, les diverses sortes de trompettes, chez les Romains, ont toujours été appelées *buccina* et *cornu*, parce que, primitivement, c'était avec la coquille dite buccin ou avec la corne d'un animal que les Romains étaient convoqués aux assemblées du Forum.

ment, et de deux ou trois espèces voisines, constitue, dans le commerce, une marchandise médiocrement estimée, employée pour le placage, et dont le prix actuel est de 20 fr. le kilogr. environ. Les espèces dites *Caouanes*, dont l'enveloppe est sans élégance, donnent une écaille tout à fait inférieure, qui ne se vend pas au delà de 5 fr. le kilogr. Elle est d'un brun foncé, presque sans jaspures, et sert particulièrement pour la tabletterie ordinaire. On ne trouve dans ces deux sortes d'écailles ni la légèreté, ni l'éclat, ni enfin les belles nuances, soit d'un brun rougeâtre ou noirâtre, soit d'un jaune doré, qui, en formant d'élégantes jaspures, donnent tant de valeur à l'enveloppe des tortues de mer à écailles imbriquées, connues sous le nom de *Caret*. Le prix de cette dernière, qui, à une certaine époque encore peu éloignée, a été parfois de 150 fr. le kilogr., est maintenant de 60 fr. en moyenne. Ces chiffres montrent la différence considérable que présentent, comme objets de commerce, ces trois sortes d'écaille [1].

Ce sont les treize plaques de la région dorsale qui, en raison de leurs grandes dimensions, fournissent les plus beaux morceaux. L'industrie utilise également avec avantage les vingt-quatre ou vingt-cinq plaques marginales et celles du sternum. Elles fournissent l'*écaille* dite *blonde*, à cause de sa belle couleur jaune et recherchée pour de petits ouvrages en tabletterie ou même pour les peignes, quand la mode, comme à l'époque actuelle, la fait préférer à l'écaille plus foncée et jaspée.

On rejette d'ordinaire, si ce n'est pour fabriquer de l'écaille fondue, et en les mêlant aux déchets, les pièces qui recouvrent les pattes et l'enveloppe du bec. Ce que, dans le commerce, on

[1] Les pièces qui recouvrent la carapace des tortues de terre et d'eau douce sont sans emploi et par conséquent sans valeur.

On imite l'écaille, mais imparfaitement, avec la corne que l'on colore en noir par l'action de l'azotate d'argent, en brun à l'aide du nitrate acide de mercure, ou en rouge avec l'or dissous par l'eau régale. On la double aussi quelquefois de cuivre ou de substances peintes en rouge qui se voient par transparence; mais jamais on n'arrive ainsi, quelle que soit l'habileté apportée aux imitations, à simuler complétement cette matière précieuse.

Une supercherie dont l'acheteur s'aperçoit bien vite à l'usage consiste à recouvrir la corne par de l'écaille; le ramollissement de ces substances par l'action de la chaleur, comme je le dis plus loin, rend facile cette adhésion. L'objet fabriqué, toujours vendu au poids, selon l'usage des tabletiers, se trouve en conséquence, plus lourd et offre naturellement, par cette superposition, l'apparence de l'écaille,

appelle *dépouille de tortue*, est seulement la réunion des treize plaques de la carapace. Voici comment on les classe et quels noms on leur donne : « Deux très-grandes feuilles, deux un peu plus petites, trois buscs, deux ailerons, deux pointes, deux carrés, en tout treize. Les feuilles marginales, dites aussi *sertissures*, se vendent avec les onglons et ergots et en portent le nom. » (*Traité des prod. nat., ou Descript. des princip. marchandises du commerce français*, par les Courtiers, 1831, p. 452.) La meilleure qualité du *caret*, pour se servir du terme des marchands, se reconnaît à l'épaisseur et à la grandeur des plaques, à la transparence, à la netteté et à l'éclat des couleurs.

On en connaît, dans le commerce, trois sortes, qui, bien que portant des noms de pays, sont plutôt encore distinguées par les qualités particulières qu'elles présentent que par leur origine. Ainsi, il y a l'écaille de l'Inde, qui est toute écaille ne venant pas d'Amérique ; la deuxième sorte est précisement l'écaille américaine ; la troisième provient des tortues non imbriquées ; elle est désignée par la dénomination de grande écaille de tortue franche. C'est surtout des Antilles que le commerce reçoit l'écaille de caouane, qui, ressemblant beaucoup à la corne, est, comme je l'ai dit, bien moins recherchée et a une valeur très-inférieure.

Il me semble intéressant pour montrer l'importance de l'industrie relative à l'emploi de l'écaille en France de donner les chiffres suivants :

TABLEAU OFFICIEL DES IMPORTATIONS D'ÉCAILLE DE TORTUE EN FRANCE, PENDANT L'ANNÉE 1861 [1].

	PAYS DE PROVENANCE.	QUANTITÉS EN KILOGRAMMES	TAUX D'ÉVALUATION DU KILOGRAMME.		TOTAL DES VALEURS	
			VALEUR OFFICIELLE EN 1826.	VALEUR ACTUELLE EN 1861.	OFFICIELLES	ACTUELLES.
CARAPACE, ONGLONS ET CAOUANES.	Pays-Bas. . . .	775				
	Villes hanséatiques. . . .	715				
	Angleterre. . .	13.819				
	Espagne. . . .	2,401				
	Turquie.	4,450				
	Ile Maurice. . .	3,366				
	Indes anglaises.	954				
	États-Unis, O.A.	591				
	Brésil.	7,538				
	Haïti.	1,646				
	Cuba et Porto-Rico.	2,688				
	Autres pays. . .	2,916				
		41,559 [2]	56	40 [3]	2,327,304	1,662,360
ROGNURES.	Angleterre. . .	1,563				
	Portugal. . . .	33				
		1,596	10	1,75	15,960	2,793

Le travail de cette belle substance est extrêmement facilité par la précieuse propriété dont elle jouit de se ramollir sous l'influence d'une chaleur modérée. Ainsi, veut-on réunir des pièces

[1] Ce document est tiré du tableau général du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères, que la direction générale des douanes et des contributions indirectes publie chaque année.

[2] A côté de ces quantités importées, le tableau officiel publie le chiffre de la consommation. Elle est de 38,601 kilogr. sur 43,155 kilogr. qui sont importés.

[3] En 1826, la valeur officielle qui sert encore de base aux calculs l'emportait de beaucoup, comme on le voit, sur la valeur actuelle, ce qui tient à la plus grande quantité d'écaille importée aujourd'hui.

de trop petite étendue, on en taille les bords en biseau et on obtient la jonction en les soumettant à la pression des branches d'un étau convenablement chauffé. C'est également au moyen de moules amenés à une température déterminée qu'on donne à l'écaille préalablement ramollie par l'action de l'eau chaude les formes les plus variées qu'elle conserve en se refroidissant. Des procédés analogues sont mis en usage pour y incruster des métaux, de l'ivoire et de la nacre de perle, qui, par la pression, y pénètrent et s'y fixent. On soumet ensuite ces pièces à l'action du polissoir et on leur donne ainsi un magnifique éclat[1].

L'emploi de l'écaille comme ornement date de loin. « Carvillius Pollion, homme prodigue et ingénieux à inventer des raffinements de luxe est le premier, dit Pline (liv. IX, chap. XIV, trad. Littré), qui ait imaginé de tailler l'écaille de tortue en lames et d'en revêtir des lits et des buffets. »

Gemmantes primâ fulgent testudine lecti,
(Martial, *Épigr.*, lib. XII, ép. 66.)

« Tu as des lits incrustés d'écaille..... »

On en ornait les lambris, comme l'indiquent ces vers, où la simplicité de la vie des champs est opposée au luxe des villes ;

Si non ingentem foribus domus alta superbis,
Manè salutantum totis vomit ædibus undam,
Nec varios inhiant pulchra testudine postes.
(Virgile, *Georg.*, lib. II, v. 460 et seq.)

Sans doute il ne voit pas, au retour du soleil,
De leur patron superbe adorant le réveil,
Sous les lambris pompeux de ses toits magnifiques,
Des flots d'adulateurs inonder ses portiques[2].
(Delille.)

Je vois, dit Sénèque (*de Beneficiis*, liv. VII, chap. IX) au sujet

[1] Je ne puis pas m'étendre davantage sur les préparations qu'on fait subir à l'écaille. Les ouvrages spéciaux sur l'industrie contiennent plus de détails techniques. Pour les lecteurs qui désirent en avoir un résumé plus complet je renvoie au tome XII du *Mag. pittoresque*, 1844, p. 246.

[2] Ici, il ne peut pas y avoir de doute sur le sens attaché au mot *testudo :* il s'agit de l'écaille. Il n'en est pas de même, selon toute probabilité, dans le vers 509 du Ier livre de l'*Énéide* :

. . . . Media testudine templi,

où le poëte veut exprimer la forme en voûte du temple.

des vases, des tables et des lits pour les repas, les écailles de tortues travaillées artistement et divisées en filaments très-déliés; je vois les enveloppes de l'animal le plus lent et le plus difforme achetées des sommes immenses, et la variété des couleurs qui en fait la principale beauté réduite, par un enduit étranger, à ne ressembler qu'à du bois (traduction de Pastorel), dans son 4e *Mém. sur le commerce et le luxe des Romains; Mém. Acad. Inscr. et B. Lettres*, t. VII, p. 135). »

Pline a été plus explicite encore : « On est allé chercher des matériaux jusque dans la mer : on a fondu l'écaille de tortue, et, sous le règne de Néron, on est parvenu, par une invention monstrueuse, à la dépouiller de son apparence propre par des teintures, et à la vendre plus cher en lui faisant imiter le bois. C'est ainsi qu'on enrichit les lits, c'est ainsi qu'on veut éclipser le térébenthinier, avoir un faux citre plus précieux que le citre et simuler l'érable. Tout-à l'heure, le luxe n'était pas satisfait du bois, maintenant il transforme en bois l'écaille de tortue. » (Liv. XVI, chap. LXXXIV, 3, trad. Littré).

Dans les îles de la Polynésie, comme nous l'a appris le savant voyageur naturaliste Lesson (*Voyage de la Coquille*, t. II, part. I, p. 9), les portions les plus dures de l'écaille sont utilisées pour la confection des hameçons.

Les tortues si abondantes dans la mer ne sont pas les seules qui fournissent des produits. Celles qui vivent au bord des rivières offrent une grande ressource à l'alimentation par l'énorme quantité d'œufs qu'elles déposent et enfouissent sous le sable. Il y a, dans ces habitudes et dans le parti que l'homme sait tirer de la capture de leur ponte abondante, des particularités curieuses, que Humboldt a fait connaître. Ce serait m'éloigner de mon sujet que de m'arrêter à l'étude de cette source précieuse d'alimentation. J'y reviendrai plus tard en parlant des reptiles alimentaires, je veux seulement signaler l'usage auquel sert, dans l'Amérique du Sud, l'huile que donnent les œufs et dite *huile de tortue*. Elle est mélangée à la matière colorante fournie par la pulpe de la plante nommée *Bixa orellana*. Pour préparer leur parure, dont le nom est *onoto*[1], les Caraibes, les Ottomaques et les Jaru-

[1] Proprement *anoto*. Les missionnaires espagnols disent *onotarse*, s'enduire de rocou, s'onoter. Rocou, employé à Cayenne, vient du mot brésilien urucu. Le nom français du *Bixa* est *Rocoutier*.

ros jettent les graines de *Bixa* dans une cuve remplie d'eau ; on bat cette eau pendant une heure, puis on laisse déposer la fécule, qui est d'un rouge de brique très-intense. Quand elle est sèche, elle est pétrie avec de l'huile d'œufs de tortue, et l'on en forme des gâteaux arrondis du poids de trois à quatre onces. A défaut d'huile de tortue, quelques nations mêlent à ce pigment, qui sert à colorer la peau, de la graisse de crocodile (Humboldt, *Voy. aux rég. équinox.*, t. VI, p. 317).

La graisse liquide des tortues de mer qui ne se mangent pas et dont l'écaille est peu estimée, c'est-à-dire des *Caouanes*, sert pour l'éclairage. On en fait particulièrement usage à l'île Sainte-Marguerite (Antilles), où l'espèce est très-abondante. L'huile de tortue est également brûlée dans les îles de la Polynésie (Lesson, *loc. cit.*, p. 33).

2° *Sauriens*[1]. — La peau des Crocodiles peut être débarrassée des pièces dures qui la revêtent et soumise au tannage. Celle des Caïmans, si abondants sur le bord des eaux dans les États-Unis, y a été longtemps préparée ainsi et utilisée pour la fabrication des chaussures : mais ce cuir est trop perméable, et l'on a dû renoncer à s'en servir.

Les nègres savent, dit-on, façonner avec cette peau une coiffure de guerre, sorte de casque dont l'épaisseur et la dureté protégent la tête contre le tranchant de la hache de l'ennemi.

La peau de certaines grandes espèces de Sauriens, dits Varans, recouverte de granulations et d'un aspect, par conséquent, assez analogue à celui d'un chagrin très-rude, est tendue, après sa dessiccation, sur des tambours, chez les différents peuples de l'Océanie. Sur la côte occidentale d'Afrique on en fait, pour les armes, des gaînes assez élégantes. L'enveloppe tégumentaire de la longue queue des Varans, en particulier, forme un fourreau de sabre naturel. J'ai eu occasion de voir un de ces fourreaux dans une collection d'objets recueillis chez des peuplades sau-

[1] On comprend sous cette dénomination tous les reptiles à quatre pattes et sans carapace, mais dont le corps est revêtu d'écailles. A côté de nos Lézards, qui sont comme les types de cet ordre, viennent se placer, mais, en constituant des familles très-distinctes les unes des autres, les Crocodiles, les Varans, les Caméléons, les Geckos, les Scinques, etc. Il faut également ranger dans ce groupe un certain nombre de sauriens sans pattes et, par là même, serpentiformes, tels que nos Orvets, les Amphisbènes et quelques autres, parce qu'ils s'éloignent tout à fait des vrais serpents par leur organisation interne.

vages. Les Arabes, comme l'a écrit M. le docteur Guyon, recherchent la peau de l'espèce du désert[1] pour en faire des bourses et des sacs à tabac.

Ils emploient, pour le même usage, la peau du lézard à grosse queue épineuse, dit *fouette-queue* (*Uromastix acanthinurus*), en y laissant comme ornement la queue et la tête. Les collections du Muséum possèdent une de ces bourses.

Les *poches à musc* du Crocodile servent aux Africains pour parfumer leur chevelure. Celles d'un seul Crocodile valent dix francs environ.

D'autres produits fournis par des sauriens ont été longtemps recherchés sans qu'on puisse en expliquer le motif. Ainsi, on nomme *cordylée* l'urine du lézard, quelquefois désigné par les naturalistes sous la dénomination de *Cordyle*, mais qui, dans la nomenclature actuelle, est dit *Stellio vulgaris*[2]. Cette substance, que les médecins de la secte des arabistes rangeaient au nombre des remèdes contre les maladies cutanées, a figuré dans les officines comme cosmétique. On allait et on va même encore la recueillir avec soin près des Pyramides. Les Arabes chargés de cette précieuse denrée la portent au Caire, d'où elle se répand dans tout l'Orient. Il fallait qu'on en fît un grand débit, puisque les marchands la falsifiaient et qu'on s'était étudié à découvrir leur supercherie. Les principales matières employées pour la sophistiquer étaient de la fécule mélangée à de la fiente d'étourneaux nourris avec du riz. Pour être bonne, la cordylée devait être d'une blancheur éclatante, friable et légère comme de l'amidon. Le temps, dit le docteur Jourdan, à qui j'emprunte ces détails (*Dict. des sc. méd.*, t. XXVIII, p. 93), a fait justice de ce ridicule remède chez nous ; mais cette substance dégoûtante est encore en usage chez les Turcs : ils s'en servent pour se farder le

[1] Cette espèce, dont le nom latin rappelle le séjour dans les lieux sablonneux (*varanus arenarius*), offre un des exemples les plus remarquables du système de coloration jaunâtre qu'on a nommé *couleur du désert*. Il est propre non-seulement au Varan, mais à différents sauriens fouisseurs, ainsi qu'à la vipère cornue ou Céraste, à l'Échide et aux Eryx, qui se creusent également une retraite dans le sable.

[2] Les anciens, et particulièrement Pline, appliquaient, selon toute probabilité, le mot stellion, c'est-à-dire étoilé, à cause de leurs taches blanches, aux sauriens que nous nommons aujourd'hui geckos, et dont l'organisation est très-différente de celle du lézard dont l'urine constitue la cordylée.

visage. Dans le milieu du seizième siècle, suivant Belon, la cordylée passait pour un excellent cosmétique.

L'usage n'en était pas inconnu aux coquettes de l'ancienne Rome, comme on le voit dans ces vers adressés par Horace à la vieille débauchée qui perd la craie et le fard composé d'excréments de crocodile (confusion entre le stellion et le crocodile) dont son visage était couvert.

> . . . . neque illi
> Jam manet humida creta, colorque
> Stercore fucatus crocodili. . . . .
> (*Épodes*, ode XII.)

3° *Ophidiens.* — La peau des Serpents, comme celle des Caïmans et des Crocodiles, peut être tannée et subir des préparations analogues à celles auxquelles on soumet le cuir, et par conséquent servir aux mêmes usages. Ainsi, le prince Maximilien Wied de Neuwied, qui a voyagé en savant naturaliste dans les deux Amériques et a publié, à son retour, d'importants ouvrages sur la zoologie des pays qu'il avait parcourus, dit que dans le Nouveau Monde ce cuir sert à recouvrir les valises et à fabriquer des chaussures.

Le Muséum d'histoire naturelle a reçu de M. le professeur J. Cloquet une botte en cuir de serpent Boa, très-élégante par sa forme et par les jolis dessins dont elle est naturellement ornée.

Au rapport d'Audubon, on emploie, comme la peau du serpent Boa de l'Amérique du Sud, celle des Serpents à sonnettes dans différents contrées des États-Unis. Du temps du père Dutertre (1667), on se servait à la Martinique de la peau du serpent dit fer-de-lance (*Bothrops lanceolatus*) pour confectionner des baudriers qui, selon lui, étaient parfaitement beaux. M. le docteur Rufz, dans son *Enquête sur le serpent* déjà citée, appelle l'attention sur le bon emploi que l'industrie pourrait tirer de la dépouille d'une espèce si abondante dans cette île.

A Calabozo (province de Caracas, dans la république de Venezuela), on confectionne des cordes de guitare avec les parties tendineuses des muscles dorsaux des grands Boas, et particulièrement des Eunectes, qu'on maintient plongés dans l'eau jusqu'à ce que, par suite de la putréfaction, il soit facile de détacher les tendons. Les cordes ainsi obtenues sont préférables à celles que donnent

les intestins des singes Alouates (Humboldt, *Voy. aux rég. équinox.*, t. VI, p. 152).

L'urine des serpents, qui, comme celle des lézards, est rendue sous forme de bouillie épaisse et blanche, offre une particularité intéressante qui la fait rechercher des chimistes : elle renferme 75 à 90 pour 100 d'acide urique [1]. Si dans dix litres d'eau contenant un litre de soude caustique, on fait bouillir 500 grammes d'urine de serpent, on obtient un composé nouveau, de l'urate de soude, qui, précipité par un léger excès d'acide chlorhydrique, donne 370 grammes d'acide urique cristallisé en petites lamelles et parfaitement blanc.

Chauffé avec quatre fois son poids d'acide azotique d'une densité de 1,4, l'acide urique fait effervescence et se dissout ; la liqueur abandonne, en se refroidissant, une substance cristallisée, l'*alloxane*, qui rougit le tournesol. Si, dans une dissolution de 30 grammes de cette substance pour un litre d'eau, on trempe une étoffe de laine mordancée, comme disent les teinturiers, par un mélange renfermant, en poids, des quantités égales de deuto-chlorure d'étain et d'acide oxalique, on obtient, par l'action de la chaleur, sur les machines à sécher, une magnifique teinte amarante plus belle que toutes celles qui sont produites au moyen de la cochenille ammoniacale ou des bois rouges. Cette coloration est due à la transformation de l'alloxane en murexide, de l'ammoniaque se dégageant par suite de la réaction du sel d'étain sur l'acide oxalique. On a la preuve manifeste du rôle de l'ammoniaque par l'intensité plus grande qu'on donne à la teinture en exposant les étoffes avant le séchage à l'action de vapeurs ammoniacales.

On voit, par ces détails, l'importance industrielle de l'acide urique fourni en si grande abandance par l'urine des serpents, puisque, comme l'ont établi MM. Liebig et Woelher, la formation de l'alloxane et du murexide a pour point de départ les réactions de l'acide urique.

Aug. Duméril.

[1] Cet acide peut également être obtenu, mais en proportions bien moins considérables, soit des fientes de pigeons, qui en donnent, comme l'ont montré M. Sacc, et après lui M. Alb. Schlumberger, 1/72e ; soit du guano du Pérou, qui en a rendu 4 p. 100 entre les mains de ce dernier chimiste.

II

L'ANTIQUITÉ DE L'HOMME

A PROPOS DE LA DÉCOUVERTE DE LA MACHOIRE DE MOULIN-QUIGNON

L'attention du public a été appelée sur la découverte récente d'un débris humain trouvé dans une carrière des environs d'Abbeville. Est-ce enfin l'homme fossile tant de fois annoncé? Pour résoudre la question il importe de connaître l'âge du terrain dans lequel a été faite la découverte. Nous croyons donc utile de rappeler sommairement le mode de formation des divers terrains qui composent la croûte terrestre, avant de présenter les pièces même du *procès de la mâchoire*.

I

Coup d'œil sur les évolutions du globe [1]. — Terrains ignés. — Terrains sédimentaires. — Diluvium.

« Lorsque le voyageur parcourt ces plaines fécondes où des eaux tranquilles entretiennent par leur cours régulier une végétation abondante, et dont le sol, foulé par un peuple nombreux, orné de villages florissants, de riches cités, de monuments superbes, n'est jamais troublé par les ravages de la guerre, il n'est pas tenté de croire que la nature ait eu aussi ses guerres intestines, et que la surface du globe ait été bouleversée par des révolutions et des catastrophes ; mais ses idées changent dès qu'il s'élève aux collines qui bordent la plaine ; elles se développent pour ainsi dire avec sa vue, elles commencent à embrasser l'étendue et la grandeur de ces événements antiques, dès qu'il gravit les chaînes plus élevées dont ces collines couvrent le pied, ou qu'en suivant les lits des torrents qui descendent de ces chaînes, il pénètre dans leur intérieur. »

Ainsi s'exprime Cuvier au commencement de son remarquable

[1] Nous disons *évolutions* avec Geoffroy Saint-Hilaire, et non *révolutions* comme Cuvier, parce qu'il s'agit ici des divers actes d'un développement régulier et non de bouleversements accidentels.

Discours sur les révolutions du globe. Interrogeant ensuite la terre à sa surface et dans sa profondeur, il lui dérobe un à un tous les secrets de son existence primitive et de ses évolutions dans la succession des temps. A l'origine, encore informe et incandescente, elle accomplit dans l'espace son éternel mouvement. Tout autour d'elle, elle envoie, comme le soleil, des rayons ardents qu'elle ne recouvrera plus. Pendant sa rotation, la matière qui la constitue, obéissant à la force centrifuge, tend constamment à s'échapper, en même temps qu'elle est constamment retenue par cette autre force qu'on appelle l'attraction. Mais, à l'équateur, où le mouvement de rotation est plus rapide, la matière s'accumule pendant qu'elle abandonne les pôles où ce mouvement est nul. De là, l'aplatissement de la terre aux pôles et son renflement à l'équateur, qui témoignent de sa fusion primitive aussi bien que peut le témoigner sa chaleur interne.

Son écorce encore chaude se forme et se durcit en conservant sensiblement les mêmes contours. De soleil qu'elle était, la voici devenue planète. La surface ondule constamment sous l'effort des vapeurs souterraines, et la lave incandescente s'échappe par de nombreux volcans. Avec les siècles, le refroidissement continue, la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense sur la croûte terrestre et la recouvre de toutes parts, l'atmosphère est alors chargée de gaz de natures diverses.

Les vapeurs souterraines cherchant une issue soulèvent et brisent la croûte en plusieurs points. Alors se montrent les premiers fragments de ces chaînes de granit qui sont comme l'ossature du globe, ou plutôt comme les bords de vastes bassins où les eaux se rassemblent. C'est dans ces mers primitives que la vie vient animer les premiers êtres ; nous en retrouvons les débris, qui sont les premiers *fossiles*, dans les dépôts que ces mers ont laissés au fond de leurs lits.

Après une période de repos relatif, le feu et les vapeurs se sont fait jour, et de nouvelles chaînes granitiques ont soulevé les couches déposées par les eaux. On voit aujourd'hui ces dernières relevées le long des flancs montagneux dont elles suivent toutes les inflexions, tandis que dans les plaines voisines elles sont restées horizontales. Une nouvelle création d'espèces animales et végétales peuplait alors la terre et laissait sur le sol les dépouilles de générations nombreuses.

Ainsi se succédèrent, à des intervalles de temps inconnus, les nombreuses évolutions dont notre planète a conservé les traces. Chaque éruption de montagnes a diminué la part des eaux et a limité l'étendue de leurs dépôts. Dans l'Océan sans rivage des premiers temps se sont montrées les premières îles. L'étendue des continents a été croissant pendant que diminuait celle des mers. Les eaux ont été ainsi de plus en plus localisées et enfermées; il s'est formé des mers intérieures et des lacs. La nature des dépôts a varié aussi bien que leur étendue : d'abord uniformes et marins, ils sont devenus houillers, lacustres, fluviatiles et terrestres.

Dans les intervalles compris entre les violentes commotions et depuis la dernière, les agents extérieurs, c'est-à-dire les pluies, les orages, les glaciers, etc., ont produit leur action plus lente, plus faible et plus continue. Ainsi le feu et l'eau ont concouru à la formation du globe.

A chaque évolution, la nature animale et végétale s'est trouvée modifiée; le milieu où les êtres étaient destinés à vivre a été la condition de leur existence : ainsi les espèces aquatiques existaient lorsque des mers immenses couvraient le globe ; ensuite, à l'époque des îles couvertes de fougères et de conifères viennent des animaux moitié terrestres, moitié aquatiques ou aériens; les continents se forment : alors apparaissent les animaux terrestres, les végétaux dicotylédonés ; enfin les continents se développent et s'achèvent, les espèces de nos jours se montrent lorsque la terre, l'air et la température sont dans des conditions favorables à l'existence de ces derniers êtres.

Quel long récit que celui des nombreux cataclysmes qui ont successivement modifié la surface de la terre! Quel temps assigner à la durée de chacune des périodes? Chaque phase est précédée d'une crise violente ; chaque création, chaque revêtement nouveau s'élève sur des ruines. Le géologue, déchirant le sein de la terre et interrogeant les débris des mondes perdus, ressemble au laboureur dont parle le poëte : « Qui, soulevant la terre avec sa charrue, trouve des javelines rongées par la rouille, heurte avec ses pesants râteaux des casques vides et admire dans leurs tombeaux fouillés les grands ossements de nos pères. »

Nous touchons à la dernière période, celle pendant laquelle se sont formés les terrains que les géologues nomment *quaternaires* et dans lesquels on croit trouver des traces de l'espèce humaine.

La surface de l'Europe est en quelque sorte achevée, la plus grande partie des chaînes de montagnes existent : les Alpes *occidentales*, le mont Blanc, le mont Rose, en un mot les crêtes les plus élevées de cette partie du monde ont surgi tout récemment. Bientôt après s'est produit le dernier grand soulèvement européen, celui des Alpes *principales* s'étendant du mont Rose par le Saint-Gothard jusqu'en Autriche. L'Europe entière fut ébranlée. La chaîne de partage des eaux ne présenta plus d'interruption et le sol fut divisé en deux versants principaux. En France, cette arête puissante s'étend de l'est des Pyrénées au sud des Vosges, et le sol descend doucement vers le nord-ouest jusqu'à l'Océan et vers le sud-est jusqu'à la Méditerranée. Les contours de la France sont à peu près fixés. La langue de terre qui joignait Brest au cap Lizard a été rompue, et désormais la Manche sépare la France de l'Angleterre. Du même coup l'Irlande était séparée de cette dernière contrée par l'affaissement de l'isthme qui unissait alors les lieux où devaient se trouver Caernarvon et Dublin. Le golfe de Bothnie, les rivages de la Méditerranée furent dessinés. On le voit, la configuration du continent européen est arrêtée.

Une succession d'événements se sont produits alors, et il est au moins difficile d'en établir la chronologie. On ne trouve pas ici les renseignements clairs et précis qui guident le géologue dans l'étude des terrains correspondant aux autres périodes. « Nous sommes forcés d'admettre, dit Lyell, les divisions de temps aussi arbitraires, aussi purement conventionnelles que celles qui partagent en siècles l'histoire des événements humains..... Il est difficile de tracer une ligne de démarcation bien tranchée entre ces formations modernes. » Il est essentiel de bien insister, en présence de la question qui s'agite, sur la difficulté de classer les événements géologiques de cette époque.

A peine les dernières crêtes *alpestres* ont-elles surgi que des masses d'eau considérables rongent la surface des continents, en suivant les pentes, et dessinent les vallées dites d'*érosion* ou de *dénudation*, parce qu'elles ont été formées dans des terrains peu cohérents que les eaux ont entraînés.

L'action des eaux a été variée : tantôt rapides, elles rongent et entraînent les terrains ; tantôt calmes et répandues sur de grandes surfaces, elles forment de vastes dépôts. C'est à plusieurs reprises qu'elles creusent le sol ou qu'elles y déposent des *alluvions*. A

chaque fois le cours d'eau occupe un espace plus étroit et forme des dépôts plus restreints, de sorte que les dépôts s'emboîtent les uns dans les autres, comme si la masse des eaux eût diminué et qu'en même temps la nature des sédiments eût varié. On peut voir à droite et à gauche de nos fleuves, à une certaine distance des rives, les restes de leurs anciens lits qui s'étendent en s'étageant jusqu'aux chaînes qui limitent les bassins.

« La plupart de nos grandes rivières ont elles-mêmes creusé leurs lits dans des *alluvions anciennes*, distinctes de celles qu'elles forment aujourd'hui : tel est, par exemple, le cas de la Seine, à Paris, qui a creusé son lit dans un dépôt de cailloux roulés, fort différents des graviers qu'elle dépose maintenant. » — On voit ainsi nettement, ce nous semble, la différence entre ce qu'on nomme des *alluvions anciennes* et des *alluvions modernes*.

« La puissance des agents d'érosion a été telle que des terrains pouvant atteindre de *trois* à *quatre cents* mètres d'épaisseur, et occupant de vastes régions, ont ainsi disparu. Pour ne citer qu'un exemple intéressant, nous dirons que les buttes de Montmartre, de Ménilmontant et du mont Valérien sont restées comme *témoins* des déblais produits par les érosions, dans des couches qui formaient jadis un même ensemble[1]. »

Des espèces animales variées, et surtout des éléphants, peuplaient alors en grand nombre les forêts dont la France était couverte. Protégés par une épaisse fourrure, les éléphants pouvaient vivre sous un climat tempéré. Leur taille était plus élevée que celle des éléphants actuels dont ils se distinguaient encore par d'énormes défenses et une abondante crinière de poils roides et noirs Les rhinocéros étaient également très-nombreux, couverts également de poils, de tailles diverses, depuis ceux à deux cornes, plus grands que nos rhinocéros, jusqu'à ceux de la taille d'un porc. Puis des tigres, des lions, des bœufs, des cerfs, etc., en un mot une création assez semblable à celle de nos jours.

C'est à cette époque que deux périodes principales d'un froid intense se sont produites, entre lesquelles il y a eu une troisième période où la température a été relativement élevée. Chaque fois les glaciers ont pris une grande extension, et, à la fin de chaque période, une formidable débâcle de glaces a eu lieu.

[1] Vézian, *Prodromes de géologie*.

Les animaux ont-ils tous été détruits, ou simplement une partie d'entre eux ? Sans doute un certain nombre furent saisis par les glaces, comme on peut le juger par l'immense ossuaire qui s'étend depuis l'Espagne jusqu'aux rivages de la Sibérie et sur toute l'Amérique septentrionale ; d'autres furent emportés par la débâcle, entraînés par les eaux, roulés avec les cailloux et leurs ossements dispersés.

Un *diluvium* correspond au début et à la fin de chaque période de froid, le nom de *diluvium* désignant *les terrains de transport provenant des glaciers*. Il en résulte deux dépôts principaux : un *diluvium rouge* ou *diluvium des plateaux*, formé d'un dépôt caillouteux, composé d'argile *rouge* et de gravier empâtant des silex brisés, et un diluvium *gris* ou *diluvium des vallées*, composé de sable, de graviers, de cailloux roulés et de blocs erratiques dont la teinte générale est le *gris*. C'est sur ce dernier qu'on trouve les *dépôts meubles sur les pentes*, c'est-à-dire les débris des coteaux voisins entraînés par les eaux depuis le commencement de la période actuelle.

Enfin les phénomènes se sont manifestés à la surface du globe d'une manière générale et synchronique, pour toutes les contrées et pour les deux hémisphères.

II

Époque actuelle. — Découvertes de débris humains : *Homo diluvii testis;* la mâchoire de Canstadt; le squelette de la Guadeloupe; les rochers de Fontainebleau; la grotte d'Aurignac; la mâchoire d'Abbeville. — Conclusion.

Nous assistons maintenant à une de ces périodes de calme relatif qui séparent les grandes crises, pendant lesquelles les actions souterraines sont affaiblies et celles des agents extérieurs se produisent. Notre époque a vu naître et mourir les récents volcans de l'Auvergne, qui semblent éteints d'hier, ainsi que ceux de la Sardaigne. En même temps l'Etna, le Vésuve et l'Hécla ont jeté leurs premières flammes. La récente apparition de la chaîne des Andes est attestée par le grand nombre de volcans en activité qu'on y trouve et la netteté de son relief.

On peut voir déjà le travail de dépôt accompli de notre temps par les eaux fluviales : aux bouches de l'Escaut et de la Meuse,

l'action d'apport des fleuves combinée avec le refoulement des vagues a produit des atterrissements qui n'ont pas moins de soixante-seize mètres d'épaisseur; à l'embouchure du Pô, ils s'avancent d'environ soixante-dix mètres par an; les bras du Rhône se sont allongés de trois lieues depuis dix-huit cents ans, et nombre d'endroits situés au bord de la mer ou des étangs, il y a six et huit cents ans, sont aujourd'hui bien avant dans les terres. Les villes de Rosette et de Damiette, bâties au bord de la mer sur les bouches du Nil, il y a moins de mille ans, en sont aujourd'hui à deux lieues. Ravenne, jadis dans les lagunes, est maintenant à une lieue du rivage, et Venise aura un jour le même sort.

Nous voyons également se développer les dunes dont la marche est d'environ vingt mètres par an; « la Hollande proprement dite n'existe qu'à la faveur des dunes; tout ce pays, ainsi que la partie littorale de la Flandre, la Zélande, la Frise, ne sont que des lagunes en partie comblées. La mer de Harlem et quelques nappes d'eau intérieures correspondent, en Hollande, aux étangs qui existent derrière les dunes de la Gascogne[1]. » Nous voyons l'effet d'eaux carbonatées dans les fontaines de Sainte-Alyre et de Saint-Nectaire (Puy-de-Dôme). Les stalactites et les stalagmites se forment sous nos yeux, et les incrustations appelées improprement pétrifications sont l'objet d'un commerce bien connu.

La création précédente a disparu en grande partie: celle des végétaux et des animaux de nos jours lui a succédé. Les débris de cette création s'entassent, forment une couche nouvelle qui s'ajoute à la couche terrestre et qui révélera dans les âges futurs l'existence de la création actuelle.

Jusqu'à présent, c'est seulement dans cette couche de formation contemporaine qu'on avait trouvé des ossements humains. Cuvier affirmait qu'on n'en avait jamais trouvé parmi les fossiles proprement dits, ou, en d'autres termes, dans les couches régulières de la surface du globe; car, dans les tourbières, dans les alluvions, comme dans les cimetières, on pourrait aussi bien déterrer des os humains que des os de chevaux ou d'autres espèces vulgaires; il pourrait s'en trouver également dans les fentes de rochers, dans des grottes, etc.; mais, parmi les éléphants et les rhinocéros, on n'en a jamais découvert. Or Cuvier avait vu plu-

[1] Élie de Beaumont, *Leçons de géologie pratique.*

sieurs milliers d'os trouvés dans les plâtrières des environs de Paris ; il avait vu également les groupes d'ossements rapportés par Spallanzani, de l'île de Cérigo, lorsqu'il émit son opinion.

En 1726, un médecin *théologien*, du nom de Scheuchzer, avait fait paraître, dans les *Transactions philosophiques*, une description d'un squelette humain trouvé dans un schiste. Plus tard, il publia une dissertation intitulée : *l'Homme témoin du déluge* (*Homo diluvii testis*); « il est indubitable, disait-il, que ce morceau contient une moitié, ou peu s'en faut, du squelette d'un homme ; que la substance même des os et, qui, plus est, des chairs et des parties encore plus molles que les chairs y sont incorporées dans la pierre ; en un mot, que c'est une des reliques les plus rares que nous ayons de cette race maudite qui fut ensevelie sous les eaux. » L'opinion de Scheuchzer eut un grand crédit jusqu'en 1787 environ. C'est alors que Camper signala le prétendu squelette « comme un lézard pétrifié. » Plus tard, Cuvier se trouvant à Harlem se livra à un examen détaillé du fossile, grâce à la complaisance de M. Van Marum, directeur du musée, qui lui permit de découvrir les parties cachées dans la pierre. L'opération se fit en présence du savant directeur du musée et d'un autre naturaliste. Cuvier avait placé près du fossile un dessin du squelette de la *salamandre ;* or chaque coup de ciseau mettait au jour quelqu'un des os annoncés par le dessin. C'était, en effet, une gigantesque salamandre. Humboldt la rapporta des grands lacs situés autour de Mexico ; « elle est alliée à un animal fort singulier : l'axoloti. »

« On voit, dit Cuvier, parmi les os trouvés à Canstadt un *fragment de mâchoire et quelques ouvrages humains ;* mais on sait que le terrain fut remué sans précaution... En 1820, on prétendit avoir découvert à Marseille des fragments humains dans une carrière longtemps négligée : c'étaient des empreintes de tuyaux marins. Les véritables os d'homme étaient des cadavres tombés dans des fentes ou restés en d'anciennes galeries de mines, ou enduits d'incrustations. »

En 1805, on découvrit à la Guadeloupe un squelette auquel il manquait la tête et la partie supérieure engagées dans une roche formée, comme on le reconnut, de parcelles de madrépores rejetées par la mer et unies par un stuc calcaire. Sans doute il provenait du cadavre d'une personne qui avait péri dans quelque naufrage.

Son enveloppe pierreuse est analogue aux roches que les nègres désignent sous le nom de *maçonne-bon-dieu* et qui se forment d'une manière continue dans tout l'archipel des Antilles. On reconnaît à la loupe que plusieurs de ces fragments ont la même teinte rouge qu'une partie des coraux des récifs voisins. On trouve quelquefois dans les mêmes lieux des débris de vases et d'autres ouvrages humains à plusieurs mètres de profondeur.

« Les os humains trouvés près de Kœstriz et indiqués par M. de Schlotheim, — c'est Cuvier qui parle, — avaient été annoncés comme tirés de bancs très-anciens, *mais ce savant respectable s'est empressé de faire connaître combien cette assertion est encore sujette au doute*. Il en est de même des objets de fabrication humaine. » Nous avons mis en évidence les passages qui montrent, ainsi qu'on va le voir, que non-seulement les mêmes faits se reproduisent périodiquement dans leur ensemble, mais encore souvent dans leurs détails. Nos lecteurs rapprocheront naturellement la mâchoire de Canstadt de celle de Moulin-Quignon, et M. Boucher de Perthes de M. de Schlotheim.

En 1824, on trouva près de Moret (Seine-et-Marne), au lieu dit le Long-Rocher, deux blocs de grès représentant, l'un une tête et un poitrail de cheval, l'autre un homme couché et *armé d'un casque*, et où l'on prétendait voir un homme et un cheval pétrifiés. La forêt de Fontainebleau est parsemée de blocs semblables auxquels leur forme singulière a fait donner des noms appropriés. On comprendra que si nous citons ce fait, c'est comme un exemple curieux des jeux de la nature ; il ne souffre pas même un léger examen.

A diverses reprises on a trouvé dans les cavernes et les brèches des ossements humains et des débris d'une industrie naissante, le tout mêlé à des os d'espèces perdues et présentant ainsi un faux air de contemporanéité de l'homme avec ces espèces. Or il suffit, pour s'expliquer un pareil fait, de lire le récit suivant emprunté à M. Paul Marès. Il décrit ainsi une caverne située près de l'oasis de Laghouat (sud de la province d'Alger) et servant de repaire à des hyènes : « L'entrée de cette caverne a 1 mètre 50 de diamètre et donne accès dans une excavation à pic, dont les parois offrent de fortes saillies qui en rendent la descente et la montée assez praticables. Au fond de cette excavation vient un couloir étroit, conduisant à une salle de six mètres de longueur sur trois de hauteur

et quatre de largeur. Sur le sol de la caverne sont répandus des ossements nombreux, les uns entiers, les autres brisés ou rongés, portant quelquefois encore des lambeaux de chair desséchée. Ces os appartiennent tous aux divers animaux sauvages ou domestiques qui se trouvent dans les environs et que nous avons reconnus, tels que chiens, chacals, gazelles, antilopes, lièvres, chameaux, moutons, autruches, chèvres. Plusieurs *têtes humaines* sont mêlées à ces débris, au milieu desquels sont répandus de nombreux excréments de hyènes. Dans cette première salle se trouvent deux orifices. Le premier descend peu à peu dans le sein de la terre et conduit à une suite de salles très-petites où, au dire de plusieurs personnes qui l'ont parcourue on trouve des ossements très-nombreux et plusieurs *têtes humaines*. Le second couloir descend presque à pic dans le sein de la montagne ; il s'y est produit une ou deux fissures dans lesquelles ont glissé pêle-mêle des ossements et des matières terreuses de la première salle. »

On voit par cet aperçu qu'il n'est pas même nécessaire de recourir à l'hypothèse du séjour de l'homme dans les cavernes pour expliquer la présence des ossements humains dans ces lieux, mais rien n'empêche de supposer que l'homme primitif ait pu chercher un abri dans quelques-unes de ces grottes d'une grandeur suffisante et d'une disposition qui lui pût convenir. Dans une sépulture trouvée à Aurignac (Haute-Garonne), et que M. Lartet a visitée, dix-sept squelettes humains étaient entassés dans une excavation creusée dans le roc. Les fouilles faites dans cette grotte ont mis à découvert des ossements d'animaux divers et des objets en silex. Ce savant pense qu'un repas funèbre avait eu lieu en l'honneur de ces dix-sept morts et que les hyènes en avaient dévoré les restes.

Nous dirons donc avec Cuvier : « Tout porte à croire que l'espèce humaine n'existait point dans les pays où se découvrent les os fossiles, c'est-à-dire dans la plus grande partie de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique, à l'époque des révolutions qui ont enfoui ces os. »

On en était resté jusqu'à présent à cette solennelle affirmation de Cuvier, et, il faut l'avouer, une si grande autorité, si bien étayée par les faits, devait suffire au moins jusqu'à de nouvelles découvertes. Vers 1847, « un homme voué au culte de la science dans son acception la plus pure, M. Boucher de Perthes[1], » appela

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, remarques de M. Élie de Beaumont.

l'attention publique sur des *silex* ou *pierres à fusil*, ayant généralement la forme et la grandeur de coins à fendre le bois et nommées *haches de pierres*. Ces haches, aujourd'hui bien connues, ont servi à caractériser une des premières étapes de la civilisation, la période dite l'*âge de pierre*. Tout récemment le même savant explorateur signalait à l'Académie des sciences *la découverte d'une mâchoire humaine dans un terrain non remanié à Abbeville*. C'est dans le lieu du gisement des haches que les ouvriers terrassiers avaient trouvé des dents et une mâchoire humaines, en même temps que des fragments de dents d'éléphant (*Elephas primigenius*).

M. de Quatrefages s'empressa d'aller constater la découverte, et il se trouva à Abbeville en même temps que M. Falconer, paléontologiste anglais distingué[1]. Ils visitèrent ensemble le terrain de *Moulin-Quignon* et tout *en réservant la question de la nature du terrain*, considéré par M. Boucher de Perthes comme du *diluvium*, ils convinrent que la mâchoire reposait dans la couche indiquée, à côté des haches. « Elle est dans un état remarquable de conservation, *elle ne paraît pas avoir été roulée*, ce qui fait penser qu'elle n'est pas venue de bien loin. » La grandeur de l'angle des deux branches, la disposition de la dent unique restée dans la mâchoire avaient tout d'abord fait croire qu'elle pouvait provenir d'une race particulière.

Une question de cette importance ne pouvait être soulevée sans une certaine agitation. Du moment que la nouvelle se fut propagée, des doutes graves s'élevèrent sur l'authenticité de la découverte. M. Falconer, lui-même, à peine rentré en Angleterre, se déclara convaincu de la fausseté du fossile d'Abbeville. Il écrivit à ce sujet une lettre qui eut un certain retentissement[2] et où perçait un peu d'ironie. Ces nouvelles convictions résultaient pour lui de l'examen des haches et d'une dent. M. de Quatrefages fit alors justement observer qu'il n'était pas question de la mâchoire dans les raisons qui avaient déterminé le changement de front de M. Falconer, et par conséquent que l'erreur, en la supposant constatée, n'atteignait pas l'objet le plus important. Chez un homme de la valeur de l'éminent paléontologiste, un tel revi-

[1] M. Falconer est l'auteur de remarquables travaux sur la faune fossile de l'Inde.

[2] *Times* du 25 avril 1863.

rement ne pouvait s'être produit sans cause. Ce qui s'était passé, on l'apprit bientôt : des ouvriers, voyant le prix que les savants attachaient aux haches, avaient fait de celles-ci l'objet d'une industrie frauduleuse en les imitant fort habilement. On sait que le talent d'imitation s'est exercé sur tous les objets anciens et modernes : on imite les vieilles médailles, les objets d'art comme les perles et les pierres précieuses; parfois des connaisseurs expérimentés s'y trompent. Mais n'est-il pas naturel de conclure qu'il y a des haches imitées parce qu'il y en a de vraies? Il existe d'ailleurs des caractères qui permettent d'établir avec une très-grande probabilité, sinon avec certitude, l'antiquité d'un objet quelconque. On reconnaît les empreintes diverses qu'y ont laissées et le temps et l'usage : les arêtes s'émoussent, la surface s'altère, et, dans certains cas, des incrustations se forment, etc. Ce dernier caractère est déterminant, car les incrustations (*dendrites*) [1] résultent d'une action remarquablement lente qu'on ne saurait remplacer.

Au milieu de ces perplexités, on consulta un professeur d'un mérite distingué, M. Delesse, qui fait à l'École normale supérieure le cours de géologie. Après un examen consciencieux, M. Delesse s'exprimait ainsi : « Il me semble que les haches en silex et surtout la mâchoire humaine sont bien réellement des fossiles authentiques, et il me paraît impossible qu'on ait fait artificiellement ce que j'ai sous les yeux. » L'authenticité de la mâchoire n'était pas d'ailleurs sérieusement mise en doute : on ne fit d'objection que sur ce point que la matière colorante de la couche ne l'avait pas suffisamment pénétrée, et cette objection tombait d'elle-même, parce que la matière colorante de la couche est fort peu pénétrante.

Ce n'était point assez pour trancher une question semblable et grosse de conséquences. On ne pouvait d'ailleurs la laisser en suspens. Les savants intéressés prirent le plus court chemin pour arriver à une solution. C'est la période la plus intéressante du *procès de la mâchoire*. « Partagés d'opinion, mais également désireux de connaître la vérité, MM. Falconer et de Quatrefages résolurent de reprendre en commun l'examen des points en litige,

[1] Les dendrites sont des sortes de cristallisations arborescentes et très-ténues qui proviennent d'infiltrations.

et d'ouvrir à ce sujet une enquête[1]... » M. Falconer se rendit à Paris, accompagné de MM. Prestwich, Carpenter et Busk, tous membres de la Société royale de Londres, il engagea MM. Lartet, Desnoyers et Delesse à prendre part au débat. M. Milne-Edwards fut prié de diriger les travaux de la réunion et « de servir de modérateur entre les partisans des opinions contraires. » MM. Delafosse, Daubrée, Hébert, puis MM. Gaudry, l'abbé Bourgeois, Buteux et Alphonse Edwards vinrent également prendre part à la discussion.

Une première séance eut lieu au Muséum le 9 mai. La discussion porta sur les caractères d'authenticité des haches. Tous les membres de l'assemblée furent d'accord sur ce point que l'existence de certains caractères de vétusté permettaient de conclure l'ancienneté de l'origine; mais MM. de la Société royale seuls persistèrent à penser que l'absence de ces caractères suffisait pour faire infirmer l'authenticité; or, c'est ce que l'expérience a démenti plus tard. Dans tous les cas, ce jugement ne pouvait rien faire préjuger relativement à la mâchoire, à l'examen de laquelle furent consacrées les séances suivantes. Elle fut sciée, lavée, brossée, et les matières détachées, comparées à celles du terrain, furent reconnues identiques sauf cependant un léger enduit de sable grisâtre renfermé dans l'intérieur du canal de l'artère dentaire et différant complétement de l'enveloppe noirâtre. Ce fait, on le comprend, était de nature à susciter des doutes chez des esprits même non prévenus.

L'enquête fut alors transportée sur les lieux mêmes, à Moulin-Quignon. Plusieurs savants et hommes de mérite s'ajoutèrent au personnel déjà assez nombreux de l'expédition; c'étaient MM. de Vibraye, Delanoue, Garigou, Bert et Vaillant. Des précautions minutieuses furent prises par MM. Edwards père et fils pour éviter toute supercherie de la part des ouvriers, sur lesquels les membres de la commission exercèrent la plus rigoureuse surveillance.

La carrière de Moulin-Quignon, près Abbeville, s'exploite à ciel ouvert, au moyen d'une tranchée d'environ cinq mètres de profondeur, sur quarante à cinquante mètres de long. Elle fut d'abord déblayée, puis la tranchée fut poussée de façon à entamer successivement des portions du dépôt qui n'avaient pas encore été mises

[1] Lettre de M. Falconer.

à nu. C'est alors qu'on mit à découvert plusieurs lits très-minces du même sable grisâtre trouvé dans le canal de l'artère dentaire de la mâchoire; de sorte que l'incident allégué d'abord contre la certitude du séjour de la mâchoire en ce lieu, se transforma en un témoignage triomphant. « Cette couche grise se trouvait à quelques centimètres du niveau où la mâchoire avait été rencontrée, et on concevait facilement que si l'os, après avoir séjourné quelque temps dans de l'eau chargée de ce sable, avait été exposé à l'action de quelque petit remous, il aurait pu être enfoui plus profondément dans le gravier noirâtre sous-jacent... Dès lors, le désir d'arriver à la connaissance de la vérité étant l'unique sentiment dont étaient animés tous les membres de la réunion, il n'y eut plus qu'une seule opinion[1]. « *Oui, la mâchoire a séjourné dans le terrain où elle a été trouvée.* »

Nous espérons avoir fait pénétrer la même conviction dans l'esprit de nos lecteurs; elle résulte pour nous de la logique des faits autant que de l'honnêteté qui a présidé aux travaux de la commission. Mais qu'importe le terrain où reposait la mâchoire, si ce terrain n'est pas du diluvium? Or, jamais il n'a été question de l'âge géologique du terrain où se trouvent tant de preuves de l'existence de l'homme à une période bien reculée. MM. Milne-Edwards et de Quatrefages se sont tenus à cet égard dans une sage réserve, en déclarant leur incompétence sur ce point du débat. Si le terrain n'est pas du diluvium, l'homme n'est plus contemporain de la création qui a précédé la création actuelle et la question, au point de vue géologique, perd une partie de son intérêt.

Lorsque la discussion s'éleva au sein de l'Académie des sciences sur la nature du terrain, elle trouva M. Élie de Beaumont tout prêt à la lutte. Depuis vingt ans, l'éminent secrétaire perpétuel connaissait le terrain de Moulin-Quignon[2], qu'il a classé dans la catégorie des dépôts meubles sur les pentes. Son opinion ne date donc pas d'aujourd'hui et n'a été créée pour les besoins d'aucune cause. Aussi a-t-il élevé la voix avec cette autorité que donne la connaissance complète du sujet que l'on traite. « Les dépôts meu-

[1] La plus grande partie de ce qui précède est emprunté au rapport consciencieux de M. Milne Edwards.

[2] Ce terrain est figuré sur la carte géologique exposée en 1855 au palais de l'Industrie, et indiqué plusieurs années auparavant par MM. du Souich, ingénieur des mines, et M. Ant. Passy, de l'Institut.

bles sur les pentes, dit-il, sont *post-diluviens*. Ils peuvent contenir des produits de l'industrie et des ossements humains, mais ces mêmes dépôts formés de débris détachés et entraînés peuvent renfermer des dents et des ossements d'éléphants, d'hippopotames, etc. Rien n'est plus complexe et souvent plus difficile à débrouiller et à expliquer que la couche de matériaux incohérents qui existe presque partout au-dessous de la couche de terre végétale que retourne le soc de la charrue. Confondre tous ces amas de matières détritiques sous le nom de *diluvium*, c'est simplement éluder les difficultés auxquelles ils donnent naissance. » Plusieurs hommes de mérite ont apporté, dans cette circonstance, à M. Élie de Beaumont, l'appui d'observations sérieuses. M. Scipion Gras et M. Robert ont fait justement remarquer qu'un courant diluvien, dont les effets ont été si violents[1], aurait au moins usé et émoussé les arêtes et les aspérités des haches, et à plus forte raison celles de la mâchoire humaine mêlée à des corps si durs. M. Robert a ajouté une observation nouvelle : « On ne trouve pas, dit-il, de produits de l'industrie humaine en ivoire. Il serait bien étrange, en effet, qu'à une époque où les éléphants étaient si nombreux, et où l'homme devait les chasser, il n'eût pas songé à en utiliser les défenses. « M. Husson a pu étudier le sol d'une vallée qui offre un intérêt spécial pour l'étude des terrains de transport, en ce qu'elle renferme des exemples de chaque terrain. « Depuis « vingt ans, dit-il, le diluvium de cette vallée a été fouillé en tous « sens. Ces fouilles ont mis à jour un grand nombre de dents « d'éléphants et autres animaux; mais jamais elles n'ont fourni le « moindre indice de l'existence de l'homme, soit en fait d'osse- « ments, soit en fait de produits industriels[2]. »

M. Hébert, professeur de géologie à la Sorbonne, qui a étudié spécialement le terrain quaternaire et a fait partie, ainsi qu'on l'a vu, de l'expédition scientifique d'Abbeville, a cru devoir répondre à M. Élie de Beaumont par une analyse minutieuse du terrain de Moulin-Quignon et la discussion de certains points de détail qui semblent d'une faible portée. Il arrive à cette conclusion, qui n'en

[1] « Il faut, en vérité, que le transport des débris des grands animaux ait été bien violent, puisque les machelières ont non-seulement été arrachées des alvéoles dans lesquelles elles étaient enchâssées, mais sont souvent réduites à quelques lames éparses dans le sable. »

[2] *Notes relatives à l'apparition de l'homme*, etc. Toul (Meurthe), 1863.

paraît pas une, « que le gisement de Moulin-Quignon ne présente les caractères ni du diluvium gris, ni du diluvium rouge ; il *semble être* le résultat du mélange des deux par des eaux violemment agitées... *Peut-être* ce dernier phénomène est-il multiple. » Plus tard, il affirme que la configuration du sol de Moulin-Quignon, aussi bien que l'étude des matériaux entraînés, ne permet pas de supposer l'action d'éboulement des agents atmosphériques.

M. Élie de Beaumont est revenu à la charge avec un nouveau succès. L'action des *causes actuelles* n'a été, dit-il, interrompue que momentanément par les phénomènes diluviens. Nous nous permettrons d'ajouter que cette action n'a jamais cessé d'exister, pas plus que les causes elles-mêmes, et qu'on en doit retrouver la trace à toutes les époques de la création. Si l'on cherche, ajoute-t-il, l'origine du banc de Moulin-Quignon dans l'action des glaces polaires qui auraient flotté sur la baie de la Somme, on a recours à de bien grands phénomènes pour expliquer un bien petit effet, et en tout cas le banc de Moulin-Quignon n'appartiendrait pas au diluvium proprement dit, le diluvium Alpin, pas plus que si on le considère comme un mélange postérieurement effectué des diluviums rouge et gris. Quant au second point soulevé par M. Hébert, de la configuration du sol et des matériaux entraînés, M. Élie de Beaumont y répond victorieusement par des chiffres. Les pentes des alentours sont *plus que décuples de la limite supérieure de la pente des rivières navigables*, et par conséquent suffisantes pour produire des ravages sur les plateaux ondulés de la Picardie, formés de terrains peu cohérents.

Nous voici maintenant, en quelque sorte, revenus au point de départ, c'est-à-dire à la décision de Cuvier : *L'établissement de l'homme dans les pays où se trouvent les fossiles d'animaux terrestres est postérieur aux dernières révolutions que le globe ait subies*. On ne saurait, en effet, conclure la temporanéité de l'homme et des espèces perdues de la réunion des haches, de la mâchoire et des os fossiles. L'affirmation bien étayée de M. Élie de Beaumont, son autorité en pareilles matières, laisseraient au moins la décision en suspens, si les dernières lettres échangées entre lui et M. Boucher de Perthes, également honorables pour tous deux, n'étaient venues détruire nos dernières indécisions. Nous croyons donc pouvoir répéter après Cuvier : *il n'y a pas*, jusqu'à présent, *d'os humains fossiles*.

Ce que la géologie a perdu, l'anthropologie et l'histoire l'ont gagné. L'intérêt est seulement déplacé ; il est loin d'être amoindri. Nous voici un peu plus près de l'origine des choses. Les silex, mêlés ou non aux ossements humains, sont les premiers moyens de défense et de conquête employés par l'homme dans sa lutte avec la nature. La pierre brute qu'il trouve toute prête est naturellement sa première arme. Plus tard, il la cherchera dure, et enfin il parviendra à la rendre tranchante. Telle est sans doute l'origine de cette première évolution de l'humanité qu'on a nommée *âge de pierre*. Elle comprend l'époque des *habitations lacustres*, desquelles on retrouve aujourd'hui de nombreuses traces, et comme ces habitations sont liées au niveau *actuel* des lacs, nous trouvons une nouvelle preuve de l'apparition de l'homme dans les temps post-diluviens, car le seuil de chaque lac n'a pas changé depuis le puissant phénomène diluvien.

Tel est, croyons-nous, le point de départ de l'humanité. L'homme, nu et désarmé, marche à la conquête du monde. Cette conquête lui est assurée, moins encore par la matière que par la pensée. « L'homme n'est qu'un roseau, le plus faible de la nature, mais c'est un roseau pensant. Il ne faut pas que l'univers entier s'arme pour l'écraser. Une vapeur, une goutte d'eau suffit pour le tuer. Mais quand l'univers l'écraserait, l'homme serait encore plus noble que ce qui le tue, parce qu'il sait qu'il meurt, et l'avantage que l'univers a sur lui, l'univers n'en sait rien. »

FÉLIX HÉMENT.

III

DE L'ACCLIMATATION.

Avantages que l'homme peut tirer des applications pratiques des sciences et particulièrement de la zoologie. — Importance, à ce point de vue, des tentatives d'acclimatation d'espèces utiles dans les pays où elles manquent. — Remarques sur la nécessité et sur la possibilité d'accroître les ressources alimentaires fournies par nos pêches fluviales, en introduisant des poissons étrangers dans les eaux douces de la France.

Parmi toutes les sciences dont l'étude est offerte à l'activité de l'esprit humain, même parmi les plus abstraites, il n'en est aucune

de laquelle nous ne puissions dire avec un savant physicien de notre époque : « Aimons, cultivons ces belles sciences dont les résultats sublimes améliorent le sort de l'homme, élèvent sa pensée, étendent sa puissance sur la nature : conquêtes paisibles qui sont communes à toutes les nations [1]. »

Quelle science, en vérité, quand on considère son utilité pratique, ne mérite un semblable éloge? « Chacune, selon les expressions d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, a, en propre, ses applications et par là même sa mission, et, pour ainsi dire, sa fonction sociale. C'est à la mécanique, à la physique, à la chimie appliquée ; c'est aux arts mécaniques, physiques, chimiques qu'appartiennent la construction et l'arrangement de nos demeures, les voies et moyens de transport, l'échange de la pensée à travers l'espace. Au contraire, dans le domaine des applications de l'histoire naturelle, des arts agricoles, se place tout ce qui se rapporte au vêtement et à l'alimentation. C'est l'histoire naturelle, en effet, dit-il encore, qui, faisant l'inventaire des innombrables espèces dont le globe est peuplé, y découvre et désigne celles qui peuvent nous être utiles ; et c'est l'agriculture qui les multiplie sur notre sol, crée ces substances alimentaires et ces matières textiles qu'il appartient ensuite à l'industrie de mettre en œuvre et au commerce de distribuer parmi les nations [2]. »

Favoriser, étendre, accroître les progrès de cette science pratique, tel est un des buts que le naturaliste doit se proposer. Dans l'état actuel de notre société, il ne suffit plus d'apprendre à connaître les innombrables productions de la nature uniquement pour satisfaire à cette soif de savoir qui porte l'homme à pousser le plus loin possible les investigations en tout genre ; il faut maintenant rechercher, chaque jour davantage, les divers modes d'utilité de ces productions si variées.

Par la toute-puissance de l'Éternel, l'homme a été fait roi de ce monde ; il lui a été donné l'empire sur tous les êtres qui peuplent notre globe, ainsi que l'usage de tous les biens qui le remplissent. Ce pouvoir est sans bornes, et l'exercice de cet usage n'a pas de limites, puisque tout lui manquerait pour se nourrir, se vêtir ou

[1] J. B. Biot, Discours sur l'esprit d'invention et de recherches dans les sciences, lu dans la séance publique de l'Institut, le 5 janvier 1814 (*Mélanges scientifiques et littéraires*, t. II, p. 95).

[2] *Acclimatat. et domesticat. des anim. utiles*, 4e édit., 1861, p. 110.

se loger, pour se préserver de la maladie ou la combattre, et même pour satisfaire aux exigences les plus légitimes de son bien-être, s'il ne pouvait disposer à son gré de tout ce que renferment les trois règnes de la nature.

Que nous sommes loin encore d'avoir usé de ce pouvoir comme nous devrions le faire ! Buffon avait bien raison de dire : « L'homme ne sait pas assez ce que peut la nature et ce qu'il peut sur elle. »

La domestication des espèces animales est une des preuves les plus manifestes de la puissance qui nous est accordée.

Je n'ai point à présenter ici, même sous une forme abrégée, l'histoire des races domestiques, laquelle se rattache d'une façon si intime à l'étude de l'acclimatation, objet plus spécial de cet article. Qui veut connaître cette histoire doit la chercher dans le remarquable ouvrage publié en mai 1861 par Isidore Geoffroy Saint-Hilaire quelques mois avant sa mort, et qui a pour titre : *Acclimatation et domestication des animaux utiles*. Déplorant l'abandon où les naturalistes laissent une des plus riches parties de leur domaine, quand ils n'apportent pas à l'étude des animaux domestiques tout le soin qu'elle mérite, l'auteur n'a donné, dans ce livre, qu'un résumé de ses travaux encore inachevés sur cette question si digne d'intérêt. Ce n'est pas sans émotion, si l'on se reporte à la date de la publication, qu'on lit, à la page 165, cette phrase : « Le temps me permettra-t-il jamais de réunir en un corps d'ouvrage les résultats de mes études sur un sujet si longtemps négligé et que j'ai eu à considérer successivement sous les aspects les plus variés [1] ? »

Quelque regrettable que soit la fatale interruption des travaux

[1] Aussi éminent par les belles qualités du cœur que par son profond savoir, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, enlevé par une mort prématurée le 10 novembre 1861, a jeté un grand éclat sur les sciences qu'il cultivait. Non-seulement il apporta dans leur étude l'esprit philosophique dont il a laissé une trace brillante dans sa grande *Histoire des règnes organiques*, malheureusement inachevée (tomes I-III) ; mais, en outre, il fut un très-habile zoologiste pratique, et ce sera, pour sa mémoire, un grand honneur que d'avoir consacré tant d'efforts heureux à la vulgarisation des idées qui tendent à faire sortir la zoologie du cercle trop étroit où elle est restée si longtemps emprisonnée. L'utilité des animaux qui nous entourent et d'un grand nombre de ceux qui vivent sous d'autres climats, mais dont il convient de tenter l'introduction sur notre sol : telle est la thèse généreuse qu'il a soutenue avec talent et conviction.

de ce savant zoologiste, il a heureusement laissé cependant les matériaux les plus précieux sur les importantes questions traitées dans son livre, auquel, je le répète, il faut recourir pour savoir ce qui a déjà été fait, mais surtout ce qu'il reste à faire en vue du bien-être que peut procurer à l'homme un emploi moins restreint des richesses offertes par la population animale du globe. Je veux seulement appeler l'attention sur ce fait singulier que, parmi les trois cent mille espèces animales au moins qui y sont répandues, *quarante-cinq* seulement ont été, jusqu'à ce jour, soumises à la domestication[1].

[1] Il me semble intéressant d'en donner ici la liste telle qu'elle a été dressée par Isid. Geoffroy, en faisant suivre chaque nom de l'indication de son genre d'utilité, d'après la classification qu'il a lui-même présentée (Voy. pour cette classification, page 192 de cet *Annuaire* où je l'ai fait connaître.)

I. **Classe des Mammifères.** — Ordre des Carnassiers : 1 Le Chien, *Canis familiaris*, Linn., auxiliaire chez un grand nombre de peuples, pour la chasse, la garde des troupeaux et des demeures, le trait ; alimentaire chez plusieurs. — 2 Le Furet, *Mustela furo*, Linn., auxil. — 3 Le Chat, *Felis catus* (*domesticus*), Linn., auxil. — Ordre des rongeurs : 4 Le Lapin, *Lepus caniculus* (*domesticus*), Linn., aliment. et, pour quelques-unes de ses races, industriel. — 5 Le Cobaie domestique, vulgairement *Cochon d'Inde*, très-souvent, mais très-improprement désigné sous le nom de *Cabiai*, *Cavia porcellus; Mus porcellus*, Linn., accessoire ; quelquefois utilisé comme alim. — Ordre des Pachydermes : *a* Pachydermes proprement dits : — 6 Le Cochon, *Sus domesticus*, *Sus scrofa*, Linn., aliment. — *b* Solipèdes : 7 Le Cheval, *Equus caballus*, Linn., auxil. et chez un très-grand nombre de peuples aliment.; fournit de nombreux produits à l'industrie. — 8 L'Ane, *Eq. asinus*, Linn., auxil.; utilisé aussi comme aliment. — Ordre des Ruminants : 9 Le Chameau proprement dit ou à deux bosses, *Camelus bactrianus*, Linn., auxil., aliment. et industr. — 10 Le Dromadaire, ou Chameau à une bosse, *Cam. dromedarius*, Linn., *id.* — 11 Le Lama, *Auchenia glama; Camelus glama*, Linn., *id.* — 12 L'Alpaca, *Auch. paco*, *Cam. paco*, Linn., auxil. et surtout alim. et industr. — 13 Le Renne, *Tarandus rangifer* (*domesticus*); *Cervus tarandus*. Linn., auxil. et aliment. — 14 La Chèvre, *Capra hircus*, Linn., aliment. et pour quelques races industr.; employée comme auxil. en Asie. — 15 Le Mouton, *Ovis aries*, Linn., aliment. et industr.; employé aussi en Asie comme auxil. — 16 Le Bœuf, *Bos taurus*, Linn., aux., alim., industr. — 17 Le Zébu, ou Bœuf à bosse, *Bos indicus*, Linn. (*Bos taurus*, variété, la plupart des auteurs), auxil. et alim. — 18 Le Gayal, *Bos gavæus*, Colebr., alim. — 19 L'Yak, *Bos grunniens*, Pallas, auxil., alim., industr. — 20 Le Buffle, *Bos bubalus*, Linn., *id.* — 21 L'Arni, *Bos arnee*, Sh., auxil. et alim.

II. **Classe des Oiseaux.** — Ordre des Passereaux : 22 Le Serin des Canaries ou Canari, *Serinus canarius* (*domesticus*); *Fringilla canaria* (*domest.*), Linn., access. — Ordre des Gallinacés : *a* Passeripèdes : 23 Le Pigeon, *Co-*

En présence d'un si petit nombre de conquêtes faites sur la nature, dont la plupart remontent à une haute antiquité, et dont d'autres, quoique moins anciennes, comme l'introduction du dindon en Europe, ont déjà cependant plus de trois siècles de date, on éprouve un profond étonnement. On constate ainsi que l'homme n'use pas des ressources dont il pourrait, avec de la persévérance, parvenir peu à peu à se rendre maître.

Puisque un certain nombre d'animaux domestiques, comme la bœuf, l'âne et le cheval, par exemple, ont autrefois suivi l'homme quand il s'est dirigé de l'Orient vers l'Occident, pourquoi des immigrations ne s'effectueraient-elles pas encore dans les temps actuels?

lumba domestica, Will., aliment., et pour quelques races auxil. Plusieurs races sont de simple agrément ou access. — 24 La Tourterelle a collier, *Columba risoria*, Linn., access. — *b* Gallinacés proprement dits : 25 Le Faisan commun, *Phasianus colchicus*, Linn., aliment. (gibier). — 26 Le Faisan a collier, *Phas. torquatus*, Temm., aliment. (gibier). — 27 Le Faisan argenté, *Phas. nycthemerus*, Linn., access.; quelquefois employé comme aliment. — 28 Le Faisan doré, *Phas. pictus*, Linn., access.; élevé surtout comme oiseau d'ornement, mais souvent utilisé pour la table. — 29 La Poule, *Gallus domest.*, *Phas. gallus* (*domest.*), Linn., aliment. —30 Le Dindon, *Meleagris gallopavo* (*domest.*), Linn., aliment. et, pour une de ses races, industr. — 31 Le Paon, *Pavo cristatus* (*domest.*), Linn., access., parfois employé comme aliment. — 32 La Pintade, *Numida meleagris*, Linn., aliment. — Ordre des Palmipèdes : 33 L'Oie commune, *Anser domest.; Anas anser* (*domest.*), Linn., aliment. et industr. — 34 L'Oie cygnoïde, dite Oie de Guinée, *Anser cygnoïdes*, *Anas cygn.*, Linn., access. — 35 L'Oie du Canada, *Anser Canadensis* (*domest.*), Will.; *Anas Canad.*, Linn., access.; en Amérique, aliment. — 36 Le Canard commun, *Anas boschas* (*domest.*), Linn., aliment. — 37 Le Canard musqué, dit *Canard de Barbarie*, à tort, *Anas moschata* (*domest.*), Linn., aliment. — 38 Le Cygne, *Cygnus olor* (*domest.*); *Anas olor*, Gmelin, access.

III. **Classe des Poissons.** — Ordre des Malacoptérygiens abdominaux : 39 La Carpe vulgaire, *Cyprinus carpio*, Linn., aliment. — 40 La Carpe dorée, ou Dorade de la Chine, vulgairement le Poisson-Rouge, *Cypr. auratus*, Linn., access.; en Chine, aliment.

IV. **Classe des Insectes.** — Ordre des Hyménoptères : 41 L'Abeille ordinaire, *Apis mellifica*, Linn., aliment. et industr. — 42 L'Abeille ligurienne, *Ap. ligustica*, Spin., id. — 43 L'Abeille a bandes, *Ap. fasciata*, Linn., id. — Ordre des Hémiptères : 44 La Cochenille du Nopal, *Coccus cacti*, Linn., industr. — Ordre des Lépidoptères : 45 Le Bombyce du Murier, vulgairement le Ver a soie, *Bombyx mori*, industr.

Isidore Geoffroy cite encore ici la Saturnie du Ricin et la Saturnie de l'Ailante, mais leur acclimatation dans notre pays n'est peut-être pas encore assez assurée pour qu'elles puissent, dès à présent, avec le Yama-maï du Japon ou Ver a soie du chêne, prendre rang sur cette liste.

En d'autres termes, pourquoi des animaux déjà soumis à la domestication dans leur propre pays ne seraient-ils pas transportés avec succès dans des contrées jusqu'à un certain point comparables par leurs conditions climatologiques [1]? Pourquoi, enfin, ne ferait-on pas des essais sur diverses espèces qui sont encore à l'état sauvage [2]?

Je me borne au simple énoncé de ces questions, car tenter d'y répondre et de les résoudre ce serait vouloir reprendre les discussions intéressantes auxquelles elles donnent lieu, depuis dix ans déjà, au sein de la Société d'acclimatation. Par les succès obtenus jusqu'à ce jour dans l'introduction en Europe de l'Yak, de la Chèvre d'Angora et de Vers à soie étrangers, elle s'est engagée avec résolution et avec quelque bonheur, peut-on ajouter, sur la voie qu'elle a ouverte.

Mon but n'est pas de résumer ici les travaux de cette importante association [3]. Je désire seulement appeler l'attention sur l'insuffisance de l'une des sources de l'alimentation publique. Je veux parler des produits de la pêche, et resserrant dans des limites restreintes une question dont l'étude demanderait de trop longs développements, si je la traitais dans son ensemble, je ne parlerai que des poissons de rivières et de lacs.

« Un grand débat, dit Brillat-Savarin (*Physiologie du goût*,

[1] Isidore Geoffroy pensait, avec raison, qu'il faut, dans l'intérêt même de l'acclimatation, agir avec la plus grande prudence. Un essai malheureux, dit-il, ce n'est pas seulement un capital perdu, c'est aussi la science compromise, et peut-être l'ajournement indéfini d'un progrès qui, préparé par une étude plus patiente, allait se réaliser quelques années plus tard.

Il a donc soigneusement examiné à ce point de vue, parmi les animaux domestiques étrangers à la France, ceux qu'il convient de chercher à y introduire et ceux qui, au contraire, ne doivent être l'objet d'aucune tentative.

[2] Ici encore, le savant professeur du Muséum, instruit par les résultats obtenus dans ses longues et patientes études poursuivies durant plus de trente ans à la ménagerie de cet établissement, laquelle, comme il l'a dit, est une véritable école d'acclimatation, a rendu un grand service à la zoologie pratique en dressant une liste de mammifères et d'oiseaux sauvages qu'il serait utile d'introduire et de domestiquer sur notre sol.

[3] Chaque année, à la séance générale de la Société, de 1855 à 1860, j'ai présenté, en ma qualité de secrétaire, dans le *Rapport sur les travaux*, un tableau, aussi complet que possible, de ses efforts persévérants (Voy. les *Bulletins de la Société d'acclimatation* pendant les années que je viens de citer). M. le docteur Léon Soubeiran, actuellement chargé des mêmes fonctions, continue ces exposés fidèles et détaillés.

Méditation VI, § VI), s'est élevé sur la question de savoir lequel doit l'emporter du Poisson de mer ou du Poisson d'eau douce. Le différend ne sera probablement jamais jugé conformément au proverbe espagnol : *Sobre los gustos no hay disputa.* Chacun est affecté à sa manière : ces sensations fugitives ne peuvent s'exprimer par aucun caractère connu ; et il n'y a pas d'échelle pour estimer si un Cabillaud, une Sole ou un Turbot valent mieux qu'une Truite saumonée, un Brochet de haut bord ou même une Tanche de six ou sept livres. »

Nonnius, dans son traité *Ichthyophagia, sive de Piscium esu*, publié à Anvers en 1616, a dit (chapitre XIII, page 44): *Certum enim est inter fluviatiles esse qui, succi bonitate cum marinis certare possunt, ut Perca quæ in Rheno nascitur, Salar in Mosella, Coracinus*[1] *in Nilo.*

Il est certain que plusieurs espèces fluviatiles constituent un mets excellent, et l'on peut s'étonner que le spirituel gourmet Brillat-Savarin ait omis de mentionner la plus estimée de toutes, la Perche. Pour vanter la délicatesse de sa chair, on la nomme Perdrix d'eau douce[2].

Rondelet, à la vérité, n'est pas de cet avis : « La Perche de rivière est plus semblable de nom à celle de mer (le Serran ou bien le Loup marin, c'est-à-dire le Bar) que de figure de corps, ne de substance de chair, ne de bonté de suc. Car celle de mer est de chair molle, tendre, friable, de facile digestion, de bon suc, lesquelles perfections celle de rivière n'ha point, car ell'est de chair dure, gluante, de difficile digestion. »

N'est-ce pas là une nouvelle preuve, à laquelle d'autres pour-

[1] C'est le *Bolty* d'Égypte, *Labrus niloticus*, Linn., *Chromis nilotica*, Cuv. (Cuv. Val., *Hist. Poiss.*, tome V, page 21-27.)

[2] Le poëte Ausone, né à Bordeaux, qui vivait au quatrième siècle de l'ère chrétienne, a dit dans son poëme intitulé *Mosella* :

> Nec te delicias mensarum Perca silebo
> Amnigenos inter pisces dignande marinis,
> Solus puniceis facilis contendere mullis :
> Nam neque gustus iners, solidoque incorpore partes
> Segmentis coeunt ; sed dissociantur aristis.

C'est à peu près le même éloge qui en a été fait par le P. Vanière dans son poëme *Prædium rusticum* :

> Percaque duritie carnis gratoque sapore
> Æquoreos referens mullos.

raient encore être ajoutées, de la diversité des appréciations quand il s'agit de comparer entre elles les espèces suivant qu'elles font leur séjour exclusif soit des eaux douces, soit des eaux salées[1]. C'est précisément à cause de cette diversité même, et parce que les poissons fluviatiles sont bien loin d'être condamnés sans appel par leurs détracteurs, qu'il importe de chercher à répandre ceux qui sont estimés dans les pays où ils sont pêchés en abondance.

Notons d'abord que le nombre des poissons qui vivent dans nos eaux douces est très-peu considérable[2]. Il serait donc fort dési-

[1] La distinction, d'ailleurs, n'est pas toujours bien tranchée; et ceux qui, avec raison, font grand cas des poissons anadromes, que la saison des amours fait émigrer et ramène de la mer dans les fleuves (Saumon, Éperlan, Alose, Esturgeon, etc.), peuvent, suivant leurs préférences, les considérer comme marins ou comme fluviatiles. Il en sera de même pour l'Anguille, qui est entraînée à la mer par l'instinct de la reproduction.

[2] Sans entrer ici dans aucune discussion relative aux déterminations spécifiques, et tout en laissant quelques lacunes de peu d'importance, je crois qu'il n'est pas sans intérêt de dresser la liste sommaire qui suit. Elle comprend les espèces principales des eaux douces de la France :

1 Perche (*Perca fluviatilis*); 2 Apron ou Sorcier (*Perca asper*, Linn.; *Aspro vulgaris*, Cuv., Val.); 3 Grémille ou Perche goujonnière (*Perca cernua*, Linn.; *Acerina vulgaris*, Cuv., Val.); 4 Chabot de rivière (*Cottus gobio*, Linn.); 5 Épinoche (*Gasterosteus aculeatus*, Linn.; *G. leiurus* et *G. trachurus*, Cuv., Val.); 6 Épinochette ou petite Épinoche d'Europe, à neuf épines (*G. pungitius*, Linn.); 7 Carpe commune (*Cyprinus carpio*, Linn.), à laquelle il faut rapporter, comme variété, le Roi des Cyprins ou Carpe à cuir, ou bien encore Carpe à miroir; 8 Carpe gibèle (*C. gibelio*, Bloch); 9 Carpe dorée ou Dorade de la Chine (*C. auratus*, Bloch); 10 Tanche vulgaire (*Tinca vulgaris*); 11 Barbeau commun (*Cyprinus barbus*, Linn.; *Barbus fluviatilis*, Flem.); 12 Goujon ordinaire (*C. gobio*, Linn.; *Gobio fluviatilis*, Cuv.); 13 Brème commune (*C. brama*, Linn.; *Abramis brama*, Cuv.); 14 Brème bordelière (*C. blicca*, Linn., Gmel.; *Abramis blicca*, Cuv.); 15 Bouvière ou Péteuse (*C. amarus*, Bloch); 16 Rotengle (Rothauge, Œil rouge des Allemands; *Leuciscus erythrophthalmus*, Cuv., Val.); 17 Gardon (*L. rutilus*, Linn.); 18 Able jesse (*Cyprinus jeses*, Linn.; *Leuciscus jeses*, Cuv., Val.); 19 Chevaine ou Meunier (*C. dobula*, Linn.; *Leuciscus dobula*, Cuv., Val.); 20 Vaudoise (*C. leuciscus*, Linn.; *Leuciscus vulgaris*, Flem.); 21 Able de la Gironde (*Leuciscus burdigalensis*, Val.); 22 Rosse ou Able ide (*L. idus*, Linn.); 23 Able hachette (*L. dolabratus*, Hol.); 24 Rasoir (*L. pelecus* (?) *cultratus*, Val.); 25 Ablette (*L. alburnus*, Cuv., Val.); 26 Véron (*L. phoxinus*, Cuv., Val.; *Phoxinus lævis*, Agass.); 27 Nez (*Chondrostoma nasus*, Agass.); 28 Dormille ou Loche franche (*Cobitis barbatula*, Linn.); 29 Loche de rivière (*C. tænia*, Linn.); 30 Brochet commun (*Esox lucius*, Linn.); 31* Saumon commun (*Salmo-salmo*, Val.); 32* Saumon bécard (*Salmo hamatus*, Cuv.); 33* Ombre ou Omble chevalier (*S. umbla*, Linn.); 34* Forelle argentée

rable qu'il fût augmenté. Ce résultat important peut être obtenu par les procédés de la pisciculture qui a pour objet de produire du poisson et de le répandre à l'état d'alevin, et de cette façon, suivant l'heureuse expression d'Olivier de Serres (*Théâtre d'agriculture et mesnage des champs*, V^e liv., t. II, p. 80, édition de la Société d'agriculture), on *ensemence* les rivières, les fleuves, les lacs ou les étangs. Dans certains cas, au contraire, il serait peut-être avantageux de disséminer dans les eaux des poissons déjà arrivés à l'état adulte et qui, s'acclimatant et se naturalisant

(*Fario argenteus*, Val.) ; 35* Truite vulgaire (*Salar Ausonii*, Val.) ; 36* Éperlan (*Osmerus eperlanus*, Cuv.) ; 37 Ombre d'Auvergne (*Thymallus vexillifer*, Agass.) ; 38 Corégone lavaret (*Coregonus lavaretus*, Cuv.) ; 39* Houting (*C. oxyrhynchus*, Val.) ; 40* Alose commune (*Alausa vulgaris*, Cuv.) ; 41* Finte (*A. finta*, Cuv.) ; 42 Lotte commune ou de rivière (*Lota vulgaris*, Cuv.) ; 43* Flétan Pécaud (*Platessa flesus*, Cuv.) ; 44* Limande (*Plat. limanda* Cuv.) ; 45* Sole ordinaire (*Solea vulgaris*, Cuv.) ; 46 Anguille pimperneaux (*Anguilla Cuvieri*, Kaup). ; 47 Anguille Verniaux et Anguille plat-bec (*A. platycephala*, Kaup. ou *A. latirostris*, Yarr.) ; 48 Anguille long-bec (*A. acutirostris*, Yarr.) ; 49 Anguille à bec élevé (*A. altirostris*, Kaup.) ; 50* Esturgeon ordinaire (*Acipenser sturio*, Linn.) ; 51* Grande Lamproie (*Petromyzon marinus*, Linn.) ; 52 Lamproie de rivière, Pricka, Sept-œil, Satoille ou Chatoille (*Petromyzon fluviatilis*, Linn.) ; 53 Petite Lamproie de rivière, Sucet (*P. planeri*, Bloch.).

J'ai marqué d'une * les poissons anadromes.

On peut se faire une idée assez nette du peu d'importance de la consommation du poisson d'eau douce à Paris, comparée à celle du poisson de mer, par l'examen des chiffres suivants, que fournissent les relevés officiels pour l'année 1856. Ainsi, la vente des espèces fluviatiles sur le carreau de la Halle a dépassé 900,000 francs, mais on y a vendu pour 8,764,477 francs de marée.

La différence entre les quantités consommées a été indiquée par M. de Forcade La Roquette, à l'époque où il était directeur général de l'administration des eaux et forêts, dans une *note* qui a été insérée au *Bulletin de la Soc. d'acclimatat.*, 1860. « A Paris, où les produits de toute nature tendent à affluer des diverses régions de la France, la consommation annuelle du poisson donne, pour chaque habitant, une moyenne de $12^k,767$, savoir :

« Poisson de mer. . . . . $12^k,112$, soit $0^k,95$
« Poisson d'eau douce. . . . . . . $0^k,655$ $0^k,05$. »

La même note renferme des chiffres qu'il me semble intéressant de reproduire ici, en résumant beaucoup les explications qui les accompagnent, et en faisant observer que, malgré l'importance des sommes indiquées, ces dernières seraient encore bien plus considérables si la population des eaux était plus abondante. Sur trop de points, en effet, la location du droit de pêche est presque insignifiante. Voici d'abord l'évaluation de l'étendue des surfaces : « L'Etat et l'inscription maritime (à laquelle est soumise l'embouchure des

dans ces milieux nouveaux, y perpétueront leur race. Ce dernier mode de repeuplement, au reste, offre de grandes difficultés. Il a cependant été mis en pratique, et je fais connaître plus loin quelques-unes des tentatives entreprises dans le but de doter la France d'espèces fluviatiles qui lui manquent.

De tous les poissons étrangers dont l'introduction dans notre pays ou en Algérie pourrait être essayée, il n'en est pas un peut-être qui offre plus de chances de succès que le *Gourami*[1]. Il peut acquérir et même dépasser la taille d'un Turbot, dont il rappelle un peu l'apparence générale, quoiqu'il n'ait point la conformation des Pleuronectes ou poissons plats ; il a, en effet, peu d'épaisseur relativement à sa hauteur. Sa chair, à ce qu'on assure, ne le cède guère à celle de cette grande espèce célèbre à si juste titre[2]. Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, considérant le Gourami comme

fleuves) exercent le droit de pêche sur 13,100 kilomètres de canaux et de cours d'eau ; les particuliers, sur : 1° 1,500 kilom. de canaux et de rivières canalisées ; 2° 185,000 kilom. de petits cours d'eau ; 3° 200,000 hectares de lacs et étangs. »

Toutes les eaux douces, en retirant de la somme totale qu'elles rapportent la moitié des produits de la pêche aux embouchures, à cause des poissons de mer qu'elles donnent, « toutes les eaux douces de la France livrent annuellement à la consommation une quantité de poissons représentant une valeur réelle de 20 millions obtenus par moitié :

« 1° Des canaux et cours d'eau. 10,000,000
« 2° Des lacs et étangs. . . . . 10,000,000 »

[1] Nommée dans les classifications scientifiques *Osphromenus olfax* (de *osphromai*, je sens, je flaire), cette espèce, dont l'épithète rappelle la même idée, appartient à une famille d'une organisation remarquable, celle des poissons à branchies labyrinthiformes, « c'est-à-dire, comme l'explique Cuvier (*Règne animal*, t. II, p. 225), qu'une partie de leurs os pharyngiens supérieurs sont divisés en petits feuillets plus ou moins nombreux, irréguliers, interceptant des cellules dans lesquelles peut demeurer de l'eau qui découle sur les branchies et les humecte pendant que le poisson est à sec, ce qui lui permet de se rendre à terre et d'y ramper à une distance souvent assez grande des ruisseaux ou des étangs qui font son séjour ordinaire. Le nom d'*Hydrotamies* (de *hudor*, *hudros*, eau, et de *tamieion*, cellier, réservoir), qui exprime bien la disposition singulière dont il s'agit, et offre le grand avantage de remplacer une périphrase par un seul mot, a été proposé par mon père dans son *Ichthyologie analytique*. C'est en raison d'une sorte d'analogie entre cette particularité anatomique et celle des cornets osseux des fosses nasales que les dénominations employées pour désigner ces poissons ont été empruntées à des mots grecs et latins dont le sens se rapporte à l'olfaction.

[2] Commerson, qui, le premier, en a donné une description exacte, a dit, en le comparant à tous les autres poissons : *Nihil inter pisc tam marinos, tam*

une conquête qu'il importe de ne pas négliger, lui a consacré un chapitre dans son dernier et précieux ouvrage que j'ai déjà cité (*Acclimatation et domestication des animaux utiles*, 4e édit., 1861, p. 431), et en a donné une très-bonne figure. Il s'est appuyé d'ailleurs sur le succès qu'on a obtenu à l'île Maurice[1]. Si l'on veut d'autres détails, il faut recourir aux *Bulletins de la Société d'acclimatation*, 1861, t. VIII, p. 392, où se trouve un récit animé et plein d'intérêt des tentatives de naturalisation généralement heureuses auxquelles le Gourami a donné lieu. Il appartenait à M. le docteur Rufz de Lavison, ancien colon de la Martinique, de s'en faire le narrateur, car elle a possédé cette espèce. On sait, en outre, que le Gourami se multiplie avec abondance, depuis environ quarante ans, à l'île de la Réunion (*Bulletins*, *loc. cit.*, p. 509 et 541). M. de Martens (*Id.*, 1862, t. IX, p. 352) l'a vu, à Java, sur les tables des gens riches. Il a été trouvé dans les eaux douces de plusieurs îles de l'archipel Indien par un savant zoologiste, M. de Bleeker, et il est péché fréquemment à Bangkok : c'est ce que nous a appris M. F. Bocourt, habile naturaliste attaché au Muséum d'histoire naturelle, qui l'avait chargé, en 1861, de la mission d'aller recevoir et de ramener à Paris les animaux vivants offerts à l'Empereur par les rois de Siam. Puisque le Gourami a pu être transporté dans diverses localités, on est en droit d'espérer qu'il vivrait et se reproduirait au sud de l'Europe, en Algérie, ou peut-être même dans la France méridionale.

Sans aller chercher de bonnes espèces hors de l'Europe, on pourrait prendre dans certains fleuves, tels que le Danube, l'Elbe, la Sprée, par exemple, et dans des lacs, des espèces qui y vivent,

fluviatiles, exquisitius numquam degustavi. Il peut arriver au poids de 10 kilogrammes; mais on le trouve plus savoureux quand il est moins pesant, et, dans ces conditions, il obtient toujours des éloges semblables à ceux que ce célèbre naturaliste s'est plu à lui décerner.

[1] La Société impériale d'acclimatation, dans sa séance solennelle du 20 février 1862, a annoncé qu'elle fondait un prix de 500 francs pour l'introduction et l'acclimatation d'un nouveau poisson alimentaire dans les eaux douces de la France, de l'Algérie, de la Martinique ou de la Guadeloupe. Le prix sera doublé, si le poisson introduit et acclimaté est le Gourami. — Le concours restera ouvert jusqu'au 1er décembre 1866. Dans cette même année 1862, des colons de Maurice, MM. Liénard frères, qui avaient déjà fait d'autres tentatives pour amener ce poisson en France et qui comptent en entreprendre de nouvelles, ont fait venir de cette île des Gouramis morts malheureusement à Alexandrie.

pour les transporter dans d'autres eaux du continent où elles sont inconnues. Ainsi, pour ne parler que de celles sur lesquelles l'attention a été appelée, il y a, dans les rivières et dans les lacs du nord et de l'est de l'Europe, une grande Perche nommée Sandre (*Lucioperca Sandra*, Cuv., Val.), dont Cuvier a dit (*Hist. des Poiss.*, t. II, p. 115), en parlant de la difficulté de la transporter vivante : « C'est probablement là ce qui a empêché que l'on essayât de multiplier chez nous un poisson qui donnerait à nos tables une ressource nouvelle et des plus agréables. La tentative mériterait bien d'être faite, et notre climat n'aurait rien qui s'y opposât, car le Sandre habite et plus au nord, et plus au midi. » Cette tentative a eu lieu. M. Valenciennes, en 1851, par ordre du gouvernement, a amené un certain nombre d'individus de cette espèce, dont la vie ne s'est malheureusement pas prolongée dans nos eaux. Il n'en a pas moins été prouvé que ce transport n'est pas impossible. Il y aurait donc utilité à essayer de nouveau son introduction, et, en le plaçant dans des eaux pures, à fond de sable, on le verrait sans doute se reproduire.

Le *Silure* ou *Wels* des Allemands, ou le *Saluth* de la Suisse française (*Silurus glanis*), grand et très-bon poisson qui arrive peut-être, mais exceptionnellement, jusqu'à la taille de deux mètres, est aussi au nombre de ceux qu'il serait le plus important de répandre dans les fleuves où il manque. Si les difficultés de son acclimatation ne pouvaient pas, contre toute probabilité, être surmontées, on devrait du moins s'efforcer de le multiplier dans le Rhin, où il est rare, tandis qu'il vit en troupes nombreuses dans le Danube, dans l'Elbe et dans les eaux courantes ou les lacs du reste de l'Allemagne, ainsi que dans les fleuves de la Russie reçus par la Baltique et par la mer Noire. Il est, en outre, pêché en très-grande quantité dans le lac Apollonia en Anatolie où son nom est Iaïan-Balouk[1]. L'abondance et les qualités de sa chair, analogue à celle de l'Anguille, sont telles qu'il est extrêmement désirable de voir se renouveler la tentative faite par M. Valenciennes, et dont j'ai déjà parlé. Plusieurs des Silures rapportés de Berlin ont vécu quatre et cinq ans dans les grands réservoirs de Versailles, et y ont pris un

[1] Ce renseignement et plusieurs autres sur les animaux et les végétaux utiles de la Turquie ont été donnés dans une notice intéressante publiée par M. B. J. Latour (*Bull. Soc. d'accl.*, 1863, p. 540-555 et 614-616).

certain accroissement, mais ne s'y sont pas reproduits (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 1851, t. XXXII, p. 817, et 1855, t. XLI, p. 501). Un deuxième ou même un troisième essai réussiraient peut-être mieux et nous mettraient en possession d'une très-utile ressource alimentaire.

J'en dirai autant du *Gade*, nommé *Lotte*, qui acquiert dans l'Europe septentrionale une taille beaucoup plus considérable que dans nos eaux. Si elle ne forme pas une espèce distincte, elle représente du moins une remarquable variété par ses grandes dimensions. Elle avait été comprise, à cause des qualités de sa chair, dans le nombre des poissons apportés vivants de Berlin.

Il y aurait à citer encore le *Saumon* du Danube (*Salmo hucho*). Cette excellente espèce a été l'objet d'études intéressantes de la part de M. le professeur Coste.

Je dois également parler ici du grand Barbeau du Nil, nommé Binny (*Barbus lepidotus*). « Si tu connais meilleur que moi, ne me mange pas, » dit-on en Égypte pour exprimer l'exquise délicatesse de sa chair, comme l'a raconté Ét. Geoffroy Saint-Hilaire. Aussi, sa pêche est-elle, sur plusieurs points des rives du fleuve, l'objet d'une industrie spéciale, et certains hommes n'ont point d'autre état que celui de pêcheurs de Binnys. D'intéressants détails, à cette occasion, ont été donnés, en 1827, dans le grand ouvrage sur l'Égypte, par Isid. Geoffroy, d'après les notes de son père (édit. in-8°, p. 235). Le Binny a dû nécessairement prendre place dans le chapitre consacré par ce savant aux poissons alimentaires dont l'introduction pourrait être utile. (*Acclimat. et domestication*, etc., 4e édition, p. 428-431, avec une figure très-exacte.)

Dans cette rapide esquisse des essais faits jusqu'à ce jour en vue de l'accroissement de la population de certaines eaux, par l'introduction des espèces qui y manquent, il importe de ne pas omettre les persévérants efforts de l'Angleterre et de la France pour donner la *Truite*, le *Saumon* et la *Tanche* à l'Australie (*Bullet. de la Soc. d'acclimat.*, 1860, p. 431-433, et 1861, p. 517 et 105), qui, elle-même, appelle de ses vœux le moment où elle recevra de l'Europe les espèces qui lui manquent, en échange de celles que nous ne possédons point. N'est-il pas remarquable, en effet, de voir que la Société royale de Melbourne a voté une récompense de 12,500 fr. à qui apporterait dans la colonie cinq couples de Saumons vivants arrivés à leur développement parfait, et 2,500 fr.

pour un seul couple, soit de Saumons, soit de Truites saumonées? (*Bullet. de la Société d'acclimat.*, 1860, p. 466.)

Notre belle colonie algérienne, où les eaux douces ne renferment que peu d'espèces, qui fournissent pour l'alimentation une ressource tout à fait insuffisante et peu estimée, à cause de l'infériorité des qualités de leur chair, devait tout naturellement attirer l'attention. L'ensemencement de ses eaux semble devoir y réussir, et le récit d'essais déjà entrepris a pris place dans l'exposé de l'état actuel de l'*aquiculture*, ayant pour titre : *Fertilité et culture de l'eau*, que M. de Quatrefages a lu dans une des séances solennelles de la Société d'acclimatation (*Bulletin*, 1862, p. XLIX-LXXX).

Quand on veut introduire dans les eaux qui ne les possèdent pas des espèces nouvelles, il est indispensable, en vue du succès à obtenir, soit qu'on répande de l'alevin, soit qu'on transporte des individus adultes, de tenir compte de certaines conditions.

Ainsi, 1° les poissons étant des animaux à température variable, sont facilement impressionnables par la température du milieu dans lequel ils vivent; il est d'une haute importance de savoir si les eaux où on les transporte en ont une sensiblement égale à celle des eaux où la nature les a placés. Cette question est très-délicate et sa solution présente de nombreuses difficultés. D'abord, la température des eaux varie avec la profondeur, et par exemple, Saussure a trouvé que les couches supérieures du lac de Genève marquant 25 degrés, les couches inférieures n'avaient pas au delà de 4 à 5 degrés.

Elle n'est pas toujours la même partout, à une égale profondeur, car il peut exister des courants intérieurs et des émissions d'eaux thermales en différents points. Il faut encore tenir compte du calme ou de l'agitation des eaux. Dans le lac de Genève, en particulier, où l'eau est tranquille, on peut parfaitement se baigner; mais, à deux kilomètres, dans le Rhône, on éprouve une sensation de froid très-intense, due, non à une différence notable, car elle n'est que d'un demi-degré, mais seulement à la grande rapidité du courant.

Enfin, nous dirons qu'avant de supposer à des eaux la température d'eaux voisines, il faut s'assurer si le fond y présente les mêmes caractères : si leur lit est clair, elles s'échauffent en effet moins facilement que celles où il est vaseux, et, par suite,

toutes choses étant égales d'ailleurs, ces dernières doivent être moins froides que les premières.

2° Transporter des poissons de lacs très-élevés, comme celui de Titicaca (Pérou), dans d'autres lacs situés beaucoup plus bas, serait, en raison de la différence de pression, les placer dans des conditions défavorables. Aussi, alors même qu'on n'a point affaire à des différences de niveaux aussi considérables que celles qui se remarquent entre ce lac, situé à 4,000 mètres au-dessus du niveau de la mer et des eaux plus inférieures, doit-on se préoccuper encore de leur latitude.

3° Une autre cause d'insuccès dans la dissémination des poissons résulte des différences que peuvent offrir les eaux dans leur nature chimique.

4° Il faut même que l'attention soit fixée sur la composition géologique du lit des rivières ou des fleuves.

Pour faire juger de l'importance de cette considération, il suffira de dire que des poissons accoutumés à vivre dans des eaux à fond calcaire ne se développent pas bien ou périssent lorsqu'ils ont été transportés sur un fond vaseux. C'est ainsi, selon la remarque faite par M. le baron Baude, dans un travail sur l'empoissonnement des eaux douces (*Revue des Deux-Mondes*, 15 janvier 1861), que la Moselle, qui coule d'abord sur des roches granitiques, passe ensuite sur les calcaires de la Lorraine, puis coule, jusqu'à son embouchure, à travers des terrains de transition, ne renferme des Truites en nombre que dans la partie supérieure de son cours. Ce poisson est remplacé par des espèces moins délicates dans la traversée des calcaires jurassiques. De Trèves au Rhin se retrouvent l'abondance et la variété admirable de poissons que célébrait Ausone dans son poëme sur la Moselle, où, selon les expressions mêmes de Cuvier (*Hist. des poiss.*, t. I, p. 38), il les décrit presque autant en naturaliste qu'en poëte.

AUG. DUMÉRIL.

IV

L'ORIGINE DES ESPÈCES

M. CHARLES DARWIN.

A cette époque où le mouvement de la science vers les idées générales est si manifeste, on semble avoir compris toute l'excellence de la méthode philosophique inaugurée dans l'astronomie par Laplace et dans la zoologie par Lamarck. Les grands résultats qu'elle a déjà fournis permettent dès maintenant de croire que la nature ne s'est pas éternellement réservé le secret de son œuvre, et que la conception du plan entier de l'univers n'est pas tant au-dessus de la puissance de l'esprit humain.

L'origine des êtres organisés « ce mystère des mystères[1] » forme le sujet d'un de ces immenses problèmes que l'on eût pu croire accessibles tout au plus aux vagues spéculations de la métaphysique, et à jamais insolubles pour la science positive : mais que ne peut-on attendre du génie de l'homme et du désir insatiable de vérité qui l'anime, lorsqu'on songe aux conquêtes inespérées déjà dues à ses efforts ! La solution de la question la plus élevée des sciences naturelles, hâtons-nous de le dire, ne paraît plus aujourd'hui un rêve sans réalisation possible, et cela, grâce aux admirables travaux de M. Charles Darwin.

L'auteur de l'*Origine des espèces* fait partie de la grande école philosophique fondée par Lamarck ; il a su reconnaître entre les voies diverses ouvertes avant lui, celle où est le vrai progrès, celle où la science doit désormais s'avancer, prudente sans hésitation, hardie sans témérité, et avec cette sérénité parfaite que donne la certitude du succès. Dans sa préoccupation constante de la vérité, il ne dédaigne pas de se tenir longtemps terre à terre avant de s'élever vers les hautes régions, et d'emprisonner son intelligence dans le cercle étroit des méthodes pour lui imprimer un essor plus sûr et plus rapide[2] ; aussi fécond dans la recherche des

[1] Humboldt : *Cosmos.*

[2] « Il aime, dit M. Alph. de Candolle, les infiniment petits pour atteindre les infiniment grands. »

faits qu'ingénieux à les coordonner et habile à saisir leurs conséquences les plus cachées, aussi infatigable dans le travail de détail que fécond en grandes inductions, M. Darwin est bien un de ces savants, comme les veut Isidore Geoffroy, « qui observent et pensent, qui constatent et interprètent, qui fondent et édifient, » c'est-à-dire un de ces esprits complets, puissants à la fois par la synthèse et par l'analyse, un de ces types rares de l'intelligence humaine prédestinés aux grandes découvertes.

Le talent universellement reconnu de M. Darwin comme observateur et l'immensité de sa science donnent un grand poids à ses convictions. Peu de naturalistes possèdent, en effet, une somme égale de connaissances directes : il a vu la nature à l'œuvre sous les latitudes les plus diverses, il a recueilli lui-même dans les contrées les plus éloignées, ces faits innombrables et ces riches documents dont il a su tirer tant de si grandes conséquences.

On the Origin of Species by means of Natural Selection, tel est le titre du livre dans lequel M. Darwin présente le résultat de ses patientes études et de ses longues méditations. Il y démontre par une savante argumentation toute l'inconséquence de l'hypothèse des créations successives et immédiates ; en même temps, il y fonde, sur un principe aussi rationnel qu'original, la théorie positive de descendance modifiée. Il soulève cette grande discussion si souvent reprise de l'origine de l'espèce ; il se demande si, à deux formes différentes, correspondent deux souches différentes, ou si des êtres aujourd'hui fort dissemblables ne peuvent pas cependant avoir une origine commune. Y a-t-il eu, par exemple, à l'origine, un seul type du genre *Canis* ayant donné la nombreuse collection de variétés aujourd'hui existantes, ou bien doit-on penser que chacune de ces variétés s'est perpétuée depuis l'origine sans aucune variation, et qu'au moment où le genre en question est apparu sur le globe il s'y est montré avec les types variés sous lesquels on le rencontre de nos jours. Les assertions contenues dans l'œuvre de haute portée de M. Darwin ne tirent pas seulement leur valeur de la grande autorité de l'auteur ; elles trouvent encore un solide appui chez les naturalistes anciens ou actuels qui ont émis des vues analogues.

I

Résumé historique. — La doctrine de la variabilité des types organiques est ancienne dans la science.

Linné, après s'être rangé durant un quart de siècle parmi ceux qui soutiennent l'immutabilité des êtres vivants, reconnut lui-même vers la fin de sa vie (de 1759 à 1762), la production possible de nouvelles formes vivantes; il alla même jusqu'à regarder l'espèce comme indéfiniment variable : toutes les espèces d'un même genre auraient, selon lui, constitué à l'origine une seule espèce « *ab initio unam constituerint speciem;* » et il émet ces opinions avec la confiance que l'avenir pourra bien en démontrer la vérité « *venerit forte dies quæ ostendet.* »

« On sera surpris, écrit Buffon en 1761, de la promptitude avec laquelle les espèces varient, et de la facilité qu'elles ont à se dénaturer en prenant de nouvelles formes. Il ne serait donc pas impossible que, même sans intervertir l'ordre de la nature, tous les animaux du monde actuel ne fussent, dans le fond, les mêmes que ceux de l'ancien, desquels ils auraient autrefois tiré leur origine. » Aussi regarde-t-il comme admissible que les deux cents espèces de mammifères dont il a donné l'histoire soient issues d'un assez petit nombre de souches mères.

L'illustre Lamarck est réellement le premier des précurseurs bien déclarés de M. Darwin. Jamais l'attention du monde savant n'avait été plus vivement excitée qu'à l'époque (1809) où parut la *Philosophie zoologique*, ce livre « jusque-là sans modèle [1] » et « de première force [2] » dans lequel le grand naturaliste a exposé ses opinions touchant l'origine des êtres vivants : il y jette les fondements de la théorie de descendance modifiée en soutenant de la manière la plus convaincue, que les formes organiques actuelles n'ont pas apparu telles que nous les voyons aujourd'hui, mais dérivent d'autres formes antérieures. « C'était, dit M. Darwin, déjà rendre un éminent service à la science que d'accoutumer les esprits à considérer tout changement survenu dans le monde

[1] Isid. Geoffroy Saint-Hilaire.
[2] De Blainville.

organique aussi bien que dans le monde inorganique, comme pouvant être l'effet d'une loi naturelle et non d'une intervention miraculeuse. » C'était, en effet, ouvrir à la science des voies aussi fécondes que nouvelles, où elle pourrait désormais marcher avec espoir vers la solution des plus importants problèmes. — La gradation qu'il observait dans la structure des animaux, outre qu'elle lui suggéra « ses admirables vues sur la série animale, aussi vraies que grandes[1], » le conduisit à penser que la nature a produit successivement les différents corps doués de vie, en procédant des plus simples vers les plus complexes. L'organisation a, selon lui, commencé par des êtres extrêmement simples, apparus spontanément à l'origine; ces premières ébauches se sont peu à peu modifiées et perfectionnées dans des sens extrêmement divers, de façon à produire, à la suite des siècles, tous les corps vivants plus ou moins complexes qui couvrent aujourd'hui la surface du globe. Cette transmutation graduelle des êtres organisés est réglée par une loi de développement progressif et se trouve en même temps soumise à certaines influences modificatrices dont la plus importante, pour Lamarck, consiste dans l'acquisition de nouvelles habitudes et dans la perte des anciennes[2].

Érasme Darwin a montré dans sa *Zoonomie générale* (1794)

[1] Isid. Geoffroy Saint-Hilaire.

Ce sont les vues de Lamarck qui imprimèrent aux études zoologiques le mouvement rapide dont fut témoin le commencement de ce siècle, et qui devaient, en animant la science d'un esprit de vie et de progrès, susciter les ardentes recherches dont nous recueillons aujourd'hui les premiers fruits.

[2] Les circonstances, en devenant très-différentes, modifient, avec le temps, la forme et l'organisation des animaux : tout changement un peu considérable et longtemps maintenu dans les conditions physiques et physiologiques du milieu ambiant, amène évidemment pour les animaux un changement correspondant dans leurs besoins; or, si ces nouveaux besoins deviennent constants ou très-durables, les nouvelles actions qu'ils nécessitent dégénèrent en nouvelles habitudes. Les nouvelles habitudes : voilà, d'après Lamarck, les causes directes des modifications que subissent les êtres. D'elles résulte, selon lui, soit l'emploi de nouvelles parties qui naissent et grandissent par une suite d'efforts pour répondre aux exigences des nouveaux besoins, soit l'usage plus fréquent et par suite l'accroissement plus considérable de tel organe, soit encore le défaut d'exercice de tel autre devenu inutile et condamné par son inactivité à une atrophie plus ou moins complète. Les changements ainsi acquis se transmettent aux descendants chez lesquels ils s'immobilisent, s'atténuent ou s'exagèrent. Ainsi, des circonstances naissent les besoins; des

qu'il avait compris sept ans avant Lamarck les aspirations des sciences biologiques. Écloses chez le grand-père, les idées positives et rationnelles touchant l'origine des formes vivantes devaient acquérir tout leur développement chez le petit-fils.

W. Herbert regarde, en 1822, comme définitivement établi par les expériences d'horticulture, que les espèces végétales sont seulement des variétés plus permanentes que les variétés ordinaires ; il pense que chacun des genres animaux et végétaux n'était représenté originairement que par une seule forme douée d'une grande plasticité, et que ces différents types primitifs ont produit, sous l'empire de nombreuses causes modificatrices, toutes nos espèces actuelles.

En 1831, M. Pattrick Matthew exprima brièvement, touchant les grands faits de la nature vivante, des idées analogues à celles que développe aujourd'hui M. Darwin. Il entrevit même clairement, avant la publication de l'*Origine des espèces*, toute la force du principe de sélection naturelle[1]. La même année, M. d'Omalius d'Halloy juge la production des espèces par voie de descendance modifiée comme plus probable que celle par créations spé-

besoins, les désirs; des désirs enfin, les facultés et les modifications de l'organisme.

Lamarck a sans doute exagéré les effets du changement d'habitudes, et là, comme dans plusieurs autres cas, on pourrait l'accuser avec droit de s'abandonner trop aisément aux conjectures : « c'est certainement aller trop loin, dit M. Darwin, que d'attribuer à des circonstances purement extérieures la structure du Pivert, par exemple, avec ses pieds, sa queue, son bec et sa langue, si admirablement conformés pour extirper les insectes sous l'écorce des arbres. » Mais nous ne devons pas moins à Lamarck d'avoir mis hors de doute ce fait important que les êtres n'ont pas été initialement adaptés aux circonstances dans lesquelles ils vivent aujourd'hui.

[1] « La conception de cette loi générale, dit M. Pattrick Matthew, me vint par intuition, comme un fait évident et presque sans effort de réflexion. M. Darwin a donc plus de mérite que moi dans la découverte qui ne m'en paraissait pas une. Il l'a achevé par induction, lentement, et avec la conscience d'avoir marché synthétiquement de fait en fait ; tandis que ce fut par un coup d'œil d'ensemble sur l'aspect général de la nature que je reconnus cette formation élective des espèces pour un fait évident *à priori*, et comme un axiome qui n'avait besoin que d'être proposé pour être admis par des esprits d'une certaine portée et libres de préjugés. » On aimerait voir chez tous les savants cette abnégation complète ainsi que cet amour exclusif et désintéressé de la vérité.

ciales et indépendantes ; la même opinion a été reproduite par l'illustre géologue en 1846.

Isidore Geoffroy Saint-Hilaire, si prématurément enlevé aux sciences avec les nombreux titres qui le recommandaient à l'estime de tous, résume comme il suit, dans son cours de 1850 [1], ses vues sur l'espèce : « L'observation des animaux sauvages démontre déjà la *variabilité limitée* [2] des espèces ; la domestication et le retour à l'état de liberté la démontrent plus clairement encore et prouvent de plus que les différences produites peuvent être de *valeur générique*... — L'origine commune des diverses races humaines, ajoute-t-il, est rationnellement admissible au point de vue de la variabilité, et à ce point de vue seul : les partisans de la fixité ont dû, pour l'admettre avec nous, conclure contre leur propre principe... — En paléontologie, à la théorie de la *variabilité limitée* correspond une hypothèse simple et rationnelle, celle de la *filiation* [3] ; à la doctrine de la *fixité*, deux hypothèses également compliquées et invraisemblables, celle des *créations successives* et celle dite de *translation* [4].

Dans une brochure publiée en 1853, le docteur Schaffhausen soutient le développement progressif des formes organiques ; il attribue à l'extinction des degrés intermédiaires la démarcation actuelle des groupes, et n'admet comme moyen de renouvellement que la génération régulière. Le Rév. Baden Powell, dans son *Essai sur l'unité des mondes* (1855), démontre de la manière la plus frappante la parfaite régularité qui préside à l'apparition des es-

[1] Ce résumé se trouve reproduit dans l'*Histoire naturelle générale des règnes organiques*, tome II. pag. 430-438.

[2] Les faits de l'âge géologique actuel (âge humain), encore si peu avancé comparativement aux âges antérieurs, ne peuvent donner l'idée que d'une variabilité *limitée*.

[3] « Selon l'hypothèse de la filiation, les animaux actuels seraient issus des animaux *analogues* qui ont vécu dans l'époque géologique antérieure : nous serions fondés, par exemple, à rechercher les ancêtres de nos éléphants, de nos rhinocéros, de nos crocodiles, parmi les éléphants, les rhinocéros, les crocodiles dont la paléontologie a révélé l'existence antédiluvienne. »

[4] « Ces deux hypothèses s'accordent à admettre (pour reprendre les mêmes exemples) l'extinction complète des anciennes espèces d'éléphants, de rhinocéros, de crocodiles ; mais la première les remplace par des éléphants, des rhinocéros, des crocodiles de nouvelle création ; la seconde, par les espèces actuelles supposées préexistantes, avec tous leurs caractères actuels, sur quelque autre point du globe resté inconnu. »

pèces nouvelles et semble condamner sans appel l'hypothèse des créations indépendantes.

Un botaniste distingué, M. Naudin, a émis[1], depuis plusieurs années, sur la même question, des vues très-avancées : « Nous ne croyons pas, dit-il, que la nature ait procédé, pour former ses espèces, d'une autre manière que nous procédons nous-mêmes pour créer nos variétés ; disons mieux, c'est son procédé même que nous avons transporté dans notre pratique... Comme nous, elle a voulu former des races pour les approprier à ses besoins, et avec un nombre relativement petit de types primordiaux, elle a fait naître, successivement et à des époques diverses, toutes les espèces végétales et animales qui peuplent le globe[2]. » M. Naudin est un de ces naturalistes de progrès qui apprécient d'autant mieux la grandeur et la rationalité de l'ensemble des vues darwiniennes, les seules qui puissent rendre compte par la communauté d'origine, du grand fait de la communauté d'organisation des êtres vivants d'un même groupe, qu'il était arrivé avant de connaître les travaux de M. Darwin à des opinions analogues à celles du savant anglais. « Les ressemblances présentées par les espèces sont, dit-il encore, à la fois la conséquence et la preuve d'une parenté réelle qu'elles tiennent d'un ancêtre commun, dont elles sont sorties à des époques plus ou moins reculées et par une série d'intermédiaires plus ou moins nombreux. »

Suivant M. Vilmorin, une fois que la stabilité d'une plante est ébranlée, il devient facile d'en obtenir des variations presque à l'infini pendant un nombre illimité de générations.

M. Decaisne se range aussi parmi les partisans de la variabilité des formes organiques. Ses belles expériences sur le Poirier, commencées au Muséum dès 1855, lui ont permis de démontrer l'unité spécifique des cinq cents variétés que compte déjà cet arbre fruitier, et en même temps l'erreur dans laquelle se trouvent les partisans de l'immutabilité des espèces. Tout varie dans le Poirier : l'aspect du feuillage; la grandeur relative des fleurs ; le volume, la forme, la saveur et le coloris des fruits ; le port et le facies des arbres, et jusqu'à la nature de la séve. « A

[1] C'est à cet habile observateur qu'on doit le beau mémoire sur l'hybridité dans le règne végétal, auquel l'Institut a décerné en 1862 le grand prix des sciences physiques.

[2] *Revue horticole*, 1852, p. 101.

quelque hypothèse qu'on se rattache relativement à la nature de l'espèce, il faut bien reconnaître, dit le savant professeur du Muséum, qu'elle se présente à nous sous des aspects très-divers : tantôt resserrée entre d'étroites limites, nettement caractérisée, et ne variant pas sensiblement, mais tantôt aussi, prodigieusement large, polymorphe et pour ainsi dire divisible à l'infini. A ce point de vue, les Poiriers ne sont pas une exception ; beaucoup d'autres genres de plantes offrent le même luxe de formes secondaires et sont pour les classificateurs une pareille source d'embarras[1]. »

En juillet 1858, deux savants également originaux et indépendants l'un de l'autre, MM. Darwin et Wallace, lurent devant la Société linnéenne de Londres deux mémoires sur le principe de *sélection naturelle*. Un accord aussi parfait entre deux investigateurs qui ont travaillé chacun de leur côté pourrait très-bien être regardé comme un témoignage de l'exactitude de leurs vues.

Près d'un an plus tard, une grande autorité scientifique, le professeur Huxley prononça, devant l'Institut royal, un discours remarquable. La supposition que les différents types animaux ou végétaux ont été placés sur la surface du globe à de longs intervalles par un acte spécial du pouvoir créateur lui paraît opposée aux lois générales de la nature ; il reconnaît comme la seule appuyée par les faits l'hypothèse que les espèces vivantes sont toujours le résultat de la transformation lente et graduelle d'espèces antérieures[2].

Dans son *Introduction à la Flore australienne*, publiée vers la fin de 1859, M. Dalton-Hooker apporte à la doctrine de descendance modifiée l'appui des nombreuses observations qu'il a recueillies lui-même sur une grande partie de la surface du globe. Admettre qu'un être vivant d'une organisation quelque peu complexe et élevée est soudainement sorti tout formé des éléments bruts de l'univers, c'est, selon lui, argumenter *ad ignotum ab ignoto*. Cet éminent botaniste ne croit pas déraisonnable de penser qu'un jour on aura la preuve « que toutes les espèces actuellement

[1] *Comptes rendus*, tome LVII, p. 6. — 1863.

[2] Cette conclusion est fondée sur de nouvelles preuves dans l'intéressant ouvrage (*Evidence as to Man's Place in nature*. — 1863) que vient de publier M. Huxley. — Parmi les théories qui cherchent à expliquer l'apparition ou la transformation des espèces animales, M. Huxley juge celle de M. Darwin comme la mieux adaptée à l'état actuel de la science.

existantes sont descendues généalogiquement d'un plus petit nombre d'espèces antérieures, que leurs différences sont le fait de la variation des individus et que, s'il nous est possible aujourd'hui de les distinguer spécifiquement, cela tient à la destruction de beaucoup de formes intermédiaires. »

Enfin c'est en novembre 1859 que parut l'*Origine des espèces*.

Ce livre[1] n'est qu'un extrait et un abrégé d'un grand ouvrage auquel M. Darwin travaille depuis vingt-cinq ans : c'est pourquoi l'on n'y trouve guère que des idées générales. Les conclusions auxquelles notre auteur a été conduit n'ont pu y être présentées qu'avec un très-petit nombre de faits à l'appui. « Personne, dit-il, ne sent plus vivement que moi la nécessité de publier plus tard toutes les observations et tous les renseignements sur lesquels ces conclusions se fondent ; c'est ce que j'espère faire prochainement. » La rareté des exemples et l'abstraction fréquente de l'argumentation s'ajoutent ainsi à la difficulté du sujet pour rendre très-laborieuses l'assimilation et l'analyse du livre actuel. Mais, dans l'attente du complément de démonstration annoncé par M. Darwin, nous pouvons du moins saisir dès maintenant l'ensemble de ses vues et en apprécier toute la rationalité.

Puissance et simplicité, tel est le double caractère de l'œuvre du savant penseur[2]. « M. Darwin, pouvons-nous dire avec son tra-

[1] Il a déjà eu trois éditions en Angleterre. Il a été, en outre, répandu en Allemagne par la traduction de M. le professeur Bronn, et tout récemment en France par celle que nous devons à mademoiselle Clémence-Auguste Royer.

[2] M. Pictet est un des critiques qui ont rendu pleine justice à l'*Origine des espèces*. « Le livre de M. C. Darwin, écrit le célèbre paléontologiste génevois, a fait en Angleterre une très-grande sensation, et il le mérite. Il y a longtemps que nous n'avions rien lu de plus complet et de plus intéressant sur cette question difficile et controversée. Les faits y sont exposés avec clarté et d'une manière piquante, sous une forme nouvelle, et, en quelque sorte dégagés de la routine ordinaire. Il est impossible que son étude ne fasse pas réfléchir et ne force pas à envisager certaines questions sous un jour nouveau. »

Dans son *Antiquity of Man* (1863), l'éminent géologue sir Charles Lyell appuie la théorie de M. Darwin sur des arguments très-ingénieux, pour montrer le parallélisme et la réciprocité qui existent entre ces deux faits : l'évolution lente et *calme* du globe et la transformation lente et graduelle des faunes et des flores qui l'ont habité successivement. — On sait que, pour sir Lyell, la terre n'a jamais été le théâtre de révolutions violentes et subites, et que l'état actuel de notre planète est dû à une série de changements infiniment etits continués pendant un temps extrêmement prolongé.

ducteur, fait aimer la vérité, parce qu'on sent qu'il l'aime lui-même, parce qu'il la dit telle qu'il le pense, sans la parer. Il n'impose pas sa conviction, mais la communique et la prouve. Quand il est certain, il affirme ; quand il suppose, il le dit ; quand il doute, il l'avoue. » On trouve dans son livre toutes les raisons pour et contre sa théorie, opposées et balancées avec tout le soin qu'inspire l'unique désir d'arriver à la connaissance de la vérité ; il s'applique même à donner toute leur force aux objections que sa théorie est susceptible de soulever : c'est assez dire jusqu'où peut aller notre confiance en lui.

II

Mutabilité des êtres vivants. — Influences modificatrices. — Pouvoir électif de l'homme.

Le lecteur conçoit bien le problème qu'il s'agit de résoudre : les nombreuses espèces, les variétés plus nombreuses encore que nous trouvons dans un seul genre existent-elles depuis leur apparition avec tous les caractères qui nous permettent de les distinguer aujourd'hui, ou pouvons-nous concevoir, au contraire, qu'elles divergent d'un tronc commun, et que, réunies à l'origine, elles se sont peu à peu séparées, diversifiées sous l'influence de forces naturelles.

Pour juger cette question, M. Ch. Darwin part des faits biologiques actuels : les deux premiers chapitres de son ouvrage sont consacrés à l'examen des variations constatées chez les animaux et chez les plantes. « Pour nier absolument la variabilité des types organiques, dit-il, il ne faudrait rien moins que fermer les yeux à l'évidence. » Tout tend à prouver, en effet, que les espèces sont bien, selon l'heureuse expression de sir Herbert Spencer, « dans un état d'équilibre non permanent. » Tout confirme les opinions déduites par M. Dalton-Hooker d'une multitude d'observations originales : « La variabilité est la règle, écrit-il, et l'immutabilité l'exception, ou tout au moins cette immutabilité n'est jamais qu'un phénomène transitoire. La nature, ajoute le savant explorateur de l'Australie, a pourvu à la possibilité de la variation indéfinie. » Comment, d'ailleurs, pourrait-on se refuser à admettre cette possibilité, en présence des nombreux auteurs

qui l'ont soutenue avec une conviction si ardente et des faits si simples qui la démontrent.

C'est surtout l'étude des animaux domestiques et des plantes cultivées qui permet de juger de la plasticité des êtres. Partout où l'influence de l'homme s'est fait sentir assez longtemps, il s'est produit dans les organes des changements très-notables et dont quelques-uns seraient certainement élevés au rang de caractères spécifiques et même *génériques*, si les êtres qui les présentent se trouvaient à l'état sauvage[1].

Les causes auxquelles on peut attribuer les modifications des organismes sont habituellement rapportées par les naturalistes au climat, à l'habitat[2], au genre de vie, à la qualité nutritive des aliments, aux changements de régime[3], ainsi qu'à la désuétude de

[1] Un ornithologiste non préparé et peu familiarisé avec les modifications des types auquel on présenterait le Pigeon-paon, le Messager anglais, le Culbutant à courte face, le Pigeon romain, le Barbe, le Turbit, le Nonain, le Pigeon grosse gorge, n'hésiterait sûrement pas à les ranger comme autant d'espèces; et pourtant il se tromperait fort, car, si grandes que soient les différences qui les distinguent, ces races n'en sont pas moins (ainsi que M. Darwin l'a démontré de la manière la plus savante et la plus péremptoire) toutes descendues du seul Pigeon de roche.

Les races de Chiens présentent entre elles une diversité plus étonnante encore : sans parler de ces grandes inégalités de taille par lesquelles la plus grande race est plus que *deux fois centuple* en volume de la plus petite, il est hors de doute que le Dogue et le Roquet présentent, dans la conformation de leur tête, des différences plus grandes que celles qui séparent d'ordinaire deux genres voisins.

[2] Ainsi, chez les Péruviens Quichuas et Aymaras qui habitent les hauts plateaux de la Cordillère des Andes, le tronc comparé à celui de l'Européen est plus large et plus long, toutes proportions gardées avec les membres; cette différence vient surtout de l'ampleur et de la hauteur de la cage thoracique. Alcide d'Orbigny attribue cette augmentation dans les dimensions de la poitrine, à la grande raréfaction de l'air qui nécessite, comme chacun sait, l'inspiration d'un plus grand volume de ce fluide.

Les races d'animaux herbivores qui paissent sur ces montagnes diffèrent toujours des races des plaines : une contrée montagneuse doit inévitablement affecter la forme et les dimensions des membres postérieurs en les exerçant davantage; elle peut même agir sur le bassin et par suite d'une manière indirecte sur la tête de l'embryon dans l'utérus.

[3] Chez les oiseaux depuis longtemps domestiqués, les os des ailes pèsent moins et ceux des membres postérieurs plus, par rapport au poids total du squelette, que chez leurs congénères sauvages.

Beaucoup d'animaux présentent à l'état naturel des particularités de structure qui ne peuvent, selon M. Darwin, s'expliquer que par une diminution graduelle de certains organes : tels sont les oiseaux incapables de voler.

certains organes. Mais ce ne sont pas là les agents les plus efficaces [1].

Déjà, lorsqu'on compare entre elles les différentes races domestiques ou cultivées, on y observe quelque chose de plus qu'un simple résultat des actions modificatrices ordinaires : au-dessus de toutes les causes de changement se place, en effet, l'influence de l'homme, comme de beaucoup la plus puissante et la plus rapide. Ce n'est pas que nous puissions produire directement les variations : il ne nous est donné d'agir sur les êtres que par les forces que nous empruntons à la nature : nous transportons des plantes sur un sol et sous un ciel nouveau ; nous faisons passer des animaux dans des climats étrangers et très-différents, pour les y soumettre à une autre nourriture et à de nouvelles habitudes ; nous contraignons les espèces à faire ce qu'elles ne feraient pas d'elles-mêmes, et, en exposant ainsi les corps vivants à de nouvelles conditions de vie, nous donnons, souvent sans dessein, prise à la variabilité. Mais, où l'on aperçoit l'action immédiate de l'homme, c'est dans la manière dont il utilise les varia-

[1] Les modifications qui affectent accidentellement un organe quelconque ont souvent pour conséquence de produire dans les autres divers changements ; les tératologistes savent très-bien que certaines anomalies en entraînent d'autres, et la loi de balancement ou de compensation organique n'est au fond qu'une forme particulière de cette corrélation : toutes les fois qu'un organe ou un appareil prend un développement exagéré, une ou plusieurs parties du même système tombe dans des réductions plus ou moins marquées ; ainsi que l'a dit Gœthe : le budget de la nature est fixé ; si elle prodigue d'un côté, il faut qu'elle se restreigne de l'autre.

Les relations mutuelles, qui paraissent unir si étroitement les différentes parties d'un être animé, resteront encore longtemps obscures pour le naturaliste. Quoi de plus singulier que certaines associations de caractères ! Les Chats à yeux bleus sont sourds, les Chiens à peau nue ont une dentition imparfaite, les ruminants à poils longs et rudes sont disposés à avoir des cornes longues et nombreuses ; en Floride, la couleur décide de la vie ou de la mort des porcs exposés à manger de la racine de Lachnanthe (on n'y conserve pour les élever que les individus noirs d'une portée, parce que ce sont les seuls pour lesquels cette racine ne soit point vénéneuse. — Voyez sur ce fait curieux l'*Origine des espèces*, traduction française, pag. 31 et 122).

Il est probable qu'on devra rapprocher de ces phénomènes de corrélation et rapporter à la loi des variations simultanées les différences dans la coloration et dans la forme du crâne, l'origine des races à jambes longues et torses, l'augmentation du nombre des doigts, l'absence ou la mutiplicité des cornes, et tous les nombreux changements qui ne peuvent être attribués à aucun des agents modificateurs connus.

tions qu'il a provoquées : il choisit parmi ces derniers celles dont il espère pouvoir tirer profit, puis il les ajoute dans la direction déterminée par son intérêt ou par son caprice; c'est de cette façon qu'il parvient à adapter soit les animaux, soit les plantes à son propre usage ou même à son agrément. Un pareil résultat peut être obtenu aussi bien par une élection faite d'une manière inconsciente et sans intention directe de perfectionnement que par un choix méthodique et exercé avec connaissance de cause[1].

L'importance du pouvoir électif de l'homme prend sa source et s'affirme par l'accumulation, dans une direction spéciale et pendant un grand nombre de générations successives, de différences qui, presque insensibles d'abord, peuvent s'exagérer peu à peu au point de rendre souvent très-difficile la recherche des origines[2].

De même, à l'état de liberté, c'est, comme nous le verrons bientôt, l'accumulation constante des variations apparaît spontanément par une sorte de choix naturel, qui donne naissance, selon M. Darwin, aux plus importantes modifications de structure.

Il est à noter qu'au point de vue de la variabilité les choses ne se passent pas toutes de la même manière : ainsi, les formes dominantes sont celles qui se montrent le plus susceptibles de modifications; les espèces des grands genres présentent moins de fixité que celles des petits. Les organes rudimentaires de même

[1] Le plus souvent, tout l'art a consisté à élever ou à cultiver toujours les meilleures variétés connues et à choisir, pour la reproduire encore, une variété de quelque peu supérieure, aussitôt qu'elle apparaissait ; mais dans quelques cas, les procédés ont été beaucoup plus complexes : ainsi, l'accumulation systématique et raisonnée des modifications avantageuses, la connaissance parfaite de la direction la plus fructueuse à imprimer, l'art de discerner parmi les qualités et les formes d'une race celles qui sont le plus susceptibles d'être amenées à la perfection; les croisements habilement ménagés, le choix éclairé des meilleurs sujets, enfin l'éducation la plus scrupuleuse ont simultanément présidé à la création des chevaux de course anglais, des races bovines de Durham, d'Angus sans cornes, de Devon, etc., des mérinos, des South-Downs, des Dishley, de la race soyeuse de Mauchamp, etc.

[2] On sait sur quel degré d'habileté repose la réputation des plus célèbres éleveurs : de la moindre impulsion déviatrice donnée par la nature, d'une variation absolument inappréciable pour des yeux non exercés, ils arrivent à tirer les résultats les plus surprenants : aussi parlent-ils habituellement de l'organisation d'un animal comme d'une chose plastique qu'ils peuvent modeler presque comme il leur plaît.

que ceux de spécialisation imparfaite sont très-sujets à varier ; la complexité de structure est ordinairement accompagnée d'une plus grande tendance à la permanence de la forme ; les parties qui ont varié récemment et considérablement, sont plus exposées à changer que celles qui se sont transmises pendant longtemps sans modifications. D'un autre côté, les différences spécifiques sont moins stables que les génériques ; enfin, les caractères sexuels secondaires (bois des Cerfs, queue des Paons, etc.) manifestent une mutabilité des plus prononcées [1].

C'est un fait universellement reconnu, que tous les individus de la même espèce diffèrent les uns des autres au moins par de

[1] Il est facile de prouver que les instincts sont susceptibles de varier comme les organes. D'abord, tout le monde est à même de reconnaître que plusieurs de nos animaux domestiques ont perdu quelques-uns de leurs instincts naturels : ainsi certaines poules ne demandent jamais à couver, beaucoup de chiens n'attaquent plus les paisibles habitants des basses-cours, les jeunes poulets ont cessé de craindre les chats. Ces mêmes animaux ont acquis, en revanche, de nouveaux instincts qui leur sont devenus propres. Parmi ces derniers, il en est d'analogues à celui de la domesticité du lapin, c'est-à-dire qui paraissent devoir être attribués uniquement à l'habituation lente, successive et héréditaire de l'espèce à ses nouvelles conditions de vie ; d'autres résultent incontestablement de l'utilisation que nous avons faites de tendances naturelles manifestées par certains individus : « Ainsi, dit M. Darwin, dès que la disposition à arrêter fut devenue assez forte chez une race de chiens pour être remarquée et appréciée, l'élection méthodique avec ses moyens de contrainte, agissant sur toutes les générations successives, eurent bientôt achevé l'œuvre de la nature. » — D'un autre côté, il n'est pas rare de voir, chez les espèces libres, certains individus affecter des habitudes très-différentes de celles qui sont propres à leurs congénères les plus voisins. Chacun connaît cette merveilleuse adaptation de la structure au genre de vie, qui est si frappante chez notre Pic : ses deux doigts dirigés en arrière, ses plumes caudales assez fortes pour lui servir d'arc-boutant, son bec droit et fort, sa langue grêle, longue et extrêmement protractile, en font, sans contredit, le mieux conformé des oiseaux pour grimper au tronc des arbres et pour saisir les insectes dans les fentes de leur écorce ; cependant on trouve dans l'Amérique septentrionale des Pics qui se nourrissent principalement de fruits, et d'autres pourvus de longues ailes qui chassent les insectes au vol ; quelques-uns, propres au Mexique, creusent des trous dans des arbres à bois très-dur pour y déposer une provision de graines. Enfin les plaines de la Plata ont offert ce cas inattendu de la présence d'un véritable Pic dans une région tout à fait dépourvue d'arbres Les Pétrels n'ont certes jamais été regardés comme des palmipèdes plongeurs, et pourtant on en rencontre dans le détroit de la Terre-de-Feu qui pourraient fort bien passer pour des Grèbes, par leurs habitudes aquatiques. Ces faits n'ont du reste rien qui doive étonner lorsqu'on sait que tout être organisé s'efforce sans cesse de vivre partout où la vie lui est possible.

très-légères nuances; ces variations sont le plus souvent superficielles, mais l'observation prouve qu'elles peuvent porter aussi sur des organes importants. Les différences individuelles, bien que de peu d'intérêt pour le classificateur, sont de la plus haute importance pour le naturaliste philosophe, en ce que, pouvant le plus habituellement se transmettre [1] et fournir ainsi des matériaux à une accumulation naturelle, elles déterminent le premier acheminement vers ces variétés légères qu'on trouve à peine dignes d'être mentionnées dans les ouvrages taxonomiques [2].

III

Concurrence vitale.

Nous reconnaissons donc avec un grand nombre de naturalistes que les formes organiques sont variables; c'est là désormais un fait acquis. Quel est son importance? en quoi cette variabilité des espèces peut-elle intéresser leur existence? C'est ce que nous devons maintenant examiner.

M. Darwin fait intervenir ici son principe fécond de la *lutte pour l'existence* (*struggle for life*). La quantité de vie à la surface du globe n'étant pas susceptible d'une augmentation indéfinie, une concurrence sérieuse doit fatalement résulter de la progression géométrique rapidement croissante, selon laquelle tous les êtres organisés tendent à se multiplier. Or, il ne saurait être douteux que les individus doués de quelque avantage naturel, si minime qu'il soit, et mieux adaptés que les autres à leur

[1] Dans le Massachusets, au milieu de Moutons de race anglaise, se produisit, en 1791, un Bélier remarquable par son corps allongé et par ses pattes courtes et torses, comme celles d'un basset. Ce singulier animal a été le point de départ de la race *loutre*. Dans un troupeau de Bœufs de l'Amérique méridionale, naquit, il y a moins d'un siècle, un Taureau sans cornes, qui est devenu la souche de la race *Mocho*, caractérisée par l'absence de ces prolongements.

[2] « Je considère, dit M. Darwin, les variétés plus distinctes et permanentes comme les degrés qui conduisent à des variétés plus permanentes et plus tranchées encore; et ces dernières enfin comme formant le passage aux sous-espèces et aux espèces. » Tout, en effet, s'accorde à prouver qu'il faut considérer les espèces comme des variétés bien tranchées, et les variétés comme des espèces en voie de formation.

situation particulière, n'aient plus de chance que ceux-ci de survivre et de propager leur race ; d'un autre côté, il n'est pas moins certain que toute espèce présentant un caractère quelque peu défavorable, courra risque d'être vaincue et sera exposée à disparaître. Les modifications qui surviennent dans les organes ou dans les instincts au milieu de ce conflit universel, peuvent ainsi devenir dans certains cas des gages de victoire et de perpétuité ; dans d'autres, des germes d'extinction et des arrêts de mort.

Cette lutte incessante, que tous les êtres vivants ont à soutenir les uns contre les autres pour subsister et pour prolonger chacun leur vie spécifique comme leur vie individuelle, est plus ou moins vive, suivant les rapports de nature des formes en présence. Les Sauterelles et les Quadrupèdes herbivores peuvent être considérés comme luttant ensemble au sujet de leurs moyens d'existence ; mais, en général, la concurrence se montre beaucoup plus active entre les formes organiques voisines, qui occupent à peu près la même place dans l'économie de la nature : il existe, en effet, de nombreux exemples de variétés supplantées par d'autres variétés très-proches, et aussi d'espèces tombées en décadence par suite de l'usurpation d'autres espèces du même genre : ainsi, l'accroissement récent de la Drenne, en certaines parties de l'Écosse, a causé la rareté croissante de la Grive commune ; le Surmulot a pris la place du Rat sous les climats les plus différents, et la petite Blatte d'Asie a partout, en Russie, chassé devant elle sa grande congénère. Enfin, n'avons-nous pas encore un exemple aussi triste que frappant, dans la disparition si rapidement progressive des peuplades d'indigènes, qui occupaient les plaines de l'Amérique du Nord et de l'Australie, avant l'invasion des Européens ?

La variabilité est en relation directe avec la concurrence vitale. Si les animaux et les végétaux d'une grande extension géographique présentent habituellement un plus grand nombre de formes dérivées que ceux à habitat très-circonscrit, ce n'est pas seulement parce qu'ils sont exposés à des conditions physiques extrêmement variées, mais aussi parce qu'ils entrent forcément en lutte avec des êtres très-différents. D'autre part, les descendants modifiés d'une espèce quelconque réussissent d'autant mieux à se multiplier qu'ils se diversifient davantage, parce qu'ils deviennent ainsi capables d'occuper un plus grand nombre de places

dans l'économie naturelle. Enfin partout où la lutte d'individu à individu doit être très-vive, comme dans les régions ouvertes ou de peu d'étendue, on remarque une grande diversité entre les formes organiques; par contre, les modifications et les extinctions sont généralement beaucoup plus rares dans les stations isolées, où la concurrence se montre beaucoup moins ardente: c'est peut-être pourquoi la flore actuelle de l'île de Madère ressemble à la flore tertiaire d'Europe.

Tout corps organisé, soit directement, soit indirectement, se trouve sous la dépendance étroite d'autres corps organisés. M. Darwin a recueilli un grand nombre de faits très-propres à démontrer combien les relations mutuelles des êtres vivants et les obstacles réciproques à la multiplication des espèces qui ont à lutter dans une même contrée, sont complexes et imprévus. Il est curieux de voir, en Écosse, les animaux herbivores décider absolument de l'existence du Pin; au Paraguay, certains insectes de celle du bétail. Il est vraiment extraordinaire de penser que l'existence d'une espèce d'orchidées soit soumise à tous les détails d'organisation de leur fleur et à celle de quelques insectes; enfin, on ne peut comprendre, au premier abord, comment de la présence d'animaux félins dans un district puisse dépendre la multiplication de certaines fleurs dans ce même district [1].

IV

Sélection naturelle.

Ainsi les formes organiques varient afin de pouvoir se prêter aux changements qu'exigent les nouvelles conditions dans lesquelles elles sont appelées à vivre. Si nous comprenons maintenant le but de la mutabilité, nous ignorons encore comment chaque être vivant peut s'adapter aux relations complexes de la vie. A quelle force non encore définie appartient donc cet effet? Cette force, c'est la *sélection naturelle* (*natural selection*).

[1] Cela a lieu au moyen de l'intervention des musaraignes d'abord, et ensuite des bourdons: ces insectes sont nécessaires à la fécondation de plusieurs plantes, mais leur nombre dépend de celui des musaraignes qui détruisent leurs rayons et leurs nids; de même le nombre de ces insectivores dépend de celui des chats qui leur font la chasse.

Ce terme de *sélection naturelle* fait heureusement ressortir l'analogie du procédé de perfectionnement qu'il exprime avec la faculté dont jouit l'homme d'adapter les êtres organisés à ses propres convenances, et cela, ainsi que nous l'avons vu, par une accumulation méthodique des modifications spontanées qui lui sont avantageuses; mais l'excellence qui distingue toutes les œuvres de la nature, la puissance infinie qu'elles témoignent, présentent nécessairement la sélection naturelle comme disposée à produire des effets bien supérieurs à ceux de notre pouvoir électif. D'ailleurs, comment les productions de l'homme si capricieux, si changeant et d'apparition si récente, ne seraient-elles pas inférieures à celles que la nature a pu perfectionner pendant un temps presque infini sous l'empire des lois éternelles?

Nous ne saurions mieux faire que d'emprunter ici au bel article de M. Laugel le passage suivant. « Pour bien comprendre l'histoire de la nature, dit le brillant écrivain de la *Revue des Deux Mondes*, il faut y voir le jeu éternel d'une double action; tandis que le principe conservateur de l'hérédité préside à la transmission régulière des caractères, la sélection naturelle, principe de mouvement et de progrès, les localise, les classe, met certaines formes au rebut, en admet de nouvelles. Cette conception neuve est due à M. Darwin; l'on en sent du premier coup la grandeur et l'originalité. Mais comment, dira-t-on, agit cette prétendue sélection? Quels moyens emploie-t-elle? Quelle puissance, remplaçant dans le monde animé la main de l'homme, a si souvent renouvelé la face de la terre? C'est la souveraine puissance de la mort. Corrigeant pour ainsi dire la vie, elle arrête les écarts, les monstruosités, elle jette les faibles en sacrifice aux forts, elle fait grâce à certaines races, elle condamne les autres. Chaque jour, chaque heure, chaque instant replongent des milliers d'êtres dans cet abîme inerte de la matière inorganique, d'où la vie les avait tirés. Quand il a été dit : « Croissez et multipliez, » il a été sous-entendu : « Multipliez, mais détruisez-vous les uns « les autres..... Il ne suffit pas de naître, il faut encore pouvoir « vivre. »

« Des rapports plus intimes, plus resserrés que les mailles du tissu le plus fin relient entre elles toutes les parties de la création. Cette dépendance met chaque être à la merci non-seulement des circonstances physiques qui l'enveloppent, mais des événements

qu'entraîne la compétition perpétuelle de tout ce qui est vivant [1]. La nature prononce son *vœ victis* avec une inflexible sérénité : heureuses les races douées de quelque caractère qui puisse leur devenir un avantage! Toutes les autres seront obligées de disparaître souvent sans lutte ouverte ; dépossédées, trouvant toute place prise, toute subsistance enlevée, elles finiront nécessairement par s'éteindre [2]. »

La sélection naturelle, qui s'opère ainsi à la faveur de ces solidarités multiples et de ces conflits perpétuels, dépend nécessairement de la variabilité : elle ne peut rien jusqu'à ce que des variations favorables se présentent ou qu'il se produise dans l'économie vitale une lacune susceptible d'être mieux remplie par quelques formes modifiées que par d'autres. « Elle scrute journellement et à toute heure le monde, dit M. Darwin, pour y reconnaître les variations les plus légères, afin de rejeter ce qui est mauvais et de conserver tout ce qui est bon : elle travaille ainsi, insensiblement et en silence, partout et toujours, dès que l'opportunité s'en présente, à perfectionner les êtres et à les mettre mieux en harmonie avec les conditions organiques et inorganiques de l'existence. Ces changements graduels ne nous sont révélés que lorsque la main du temps a marqué un long laps d'années, et le tableau des âges géologiques écoulés arrive à nos yeux si effacé qu'il nous apprend seulement une chose : c'est que la vie a revêtu jadis d'autres

[1] « Lamarck, ajoute le savant critique, avait déjà reconnu l'influence du milieu ambiant sur les êtres animés, mais M. Darwin a bien fait ressortir, et c'est là son principal mérite, que, dans le milieu ambiant, il faut comprendre, non-seulement les actions physiques, mais aussi la réaction de toute la nature vivante sur chacun des êtres qui s'y trouvent embrassés. »

[2] « Supposons, dit M. Darwin, une espèce de Loup se nourrissant de divers animaux, s'emparant des uns par ruse, des autres par force et d'autres par agilité ; supposons encore que sa proie la plus agile, le Daim par exemple, par suite de quelques changements dans la contrée, se soit accru en nombre, ou que ses autres proies aient au contraire diminué pendant la saison de l'année où les Loups sont le plus pressés de la faim. En de pareilles circonstances, les Loups les plus vites et les plus agiles auront plus de chance que les autres de pouvoir vivre ». Ils seront ainsi protégés, et la balance penchera en leur faveur.

Dans les combats que se livrent entre eux les mâles pour s'approprier les femelles, il y a élection des plus vigoureux et des plus forts. Ce choix naturel, analogue à celui que pratiquent les éleveurs, a évidemment pour effet d'empêcher la dégénérescence de la race.

formes qu'aujourd'hui. » La sélection naturelle agissant exclusivement par la conservation et l'accumulation successive des modifications accidentelles, en quelque chose avantageuses, des variations sans utilité, des déviations qui ne sauraient nuire ni aux individus ni à l'espèce, lui sont tout à fait indifférentes, et subsistent à l'état d'éléments indécis, comme on peut l'observer dans les divers genres polymorphes, tels que la Ronce, le Rosier, le Saule, la Saxifrage, l'Épervière, etc. Pour la même raison, on la voit négliger les organes rudimentaires.

Les relations utiles qu'entretiennent les uns avec les autres certains êtres organisés tendent à devenir plus étroites par l'effet de la sélection naturelle : les nombreux faits que M. Darwin a patiemment recueillis pendant vingt années sur le rôle des insectes dans la fécondation des plantes, montrent comment une fleur et un insecte peuvent simultanément ou l'un après l'autre, se modifier et s'adapter mutuellement de la manière la plus parfaite, au moyen de la conservation continue d'individus présentant des déviations de structure particulièrement et réciproquement avantageuses.

La sélection naturelle ne peut absolument conserver aucune modification en une espèce exclusivement pour le bien d'une autre espèce : il serait singulier que la sonnette de la queue du Crotale lui ait été donnée à son préjudice pour avertir sa proie du danger qu'elle court ; « autant vaudrait dire que le chat, prêt à s'élancer sur la souris qu'il guette, remue la queue pour l'avertir qu'il va la manger si elle ne se sauve. »

D'après le principe reconnu que tous les corps vivants luttent pour se multiplier en raison géométrique et pour s'emparer de toute place vacante ou imparfaitement remplie, la sélection naturelle est toujours prête à agir pour adapter un être aux nouvelles conditions dans lesquelles il peut espérer de vivre : c'est ce que prouvent les Pics qui vivent dans les plaines, les Pétrols qui ont pris les habitudes des Plongeons, les Merles qui chassent les insectes sous l'eau, etc.

L'état rudimentaire de certains organes peut dériver nonseulement de ce que d'autres ont dû prendre un grand développement, mais aussi de ce que la sélection naturelle essaye continuellement d'économiser sur chaque partie de l'organisation. Lorsque, sous des conditions de vie changeante, un organe au-

trefois utile devient d'une moins grande utilité ou tout à fait sans emploi, elle s'empare des tendances de résorption, même les plus légères, que cet organe vient à manifester, parce qu'il doit être avantageux à l'individu de ne plus perdre autant de forces nutritives à l'entretien et au développement d'un organe superflu ; ces soins économiques sont affirmés par beaucoup d'exemples et notamment par un fait dont fut vivement frappé M. Darwin, en étudiant les Cirrhipèdes : lorsqu'un Cirrhipède est le parasite interne d'un autre, et que, par cela même, il se trouve protégé, il perd plus ou moins sa propre coquille ou carapace. Si un organe, utile sous de certaines conditions, devient nuisible sous d'autres, la sélection naturelle doit tendre à le diminuer jusqu'à ce qu'il cesse d'être dommageable : tel est le cas des ailes des insectes qui habitent de petites îles où règne un vent capable de les emporter à la mer.

La spécialisation des fonctions étant reconnue par tous les physiologistes comme avantageuse aux êtres qui la présentent, se trouve par conséquent du ressort de ce principe de perfectionnement ; et l'on peut entendre ici cette spécialisation aussi bien au point de vue social qu'au point de vue organique[1].

Les premiers pas vers la diversification des organes et la spécialisation des fonctions ont dû s'opérer d'autant plus aisément que c'est à l'aube même de la vie terrestre que la sélection naturelle fut le plus active. A l'époque où nous devons nous représenter tous les êtres organisés comme pourvus chacun de la plus simple structure possible, la concurrence devait être, en effet, d'autant plus ardente que ces êtres étaient plus uniformes, à cause de leur simplicité extrême, plus variables, par suite du défaut de spécialisation de leurs organes, et enfin plus nombreux en raison du rapport direct qui existe entre le degré d'infériorité des espèces et la raison géométrique de leur multiplication.

Des caractères considérés comme peu importants par les classificateurs peuvent être, au contraire, d'une très-grande valeur pour la sélection naturelle. Si les Pucerons affectent la couleur des plantes sur lesquelles ils vivent, si les Phyllies ressemblent à des feuilles, si le Lagopède (Perdrix de neige) devient d'un blanc

[1] L'accroissement des facultés économiques était nécessaire aux Abeilles, l'élection naturelle intervint alors pour réaliser ce progrès, et une division du travail s'établit.

pur en hiver, si les Grouses sont de la teinte des bruyères dans lesquelles elles nichent, c'est évidemment pour mieux échapper à leurs ennemis : or, puisque la sélection naturelle agit toujours en vue du bien de chaque être, elle a très-bien pu donner à ces espèces les couleurs et les aspects particuliers qu'elles présentent.

Deux savants paléontologistes, MM. de Verneuil et d'Archiac, après avoir traité du parallélisme des formes organiques de la période primaire en diverses parties de l'Europe et dans l'Amérique septentrionale, concluent que toutes les modifications d'espèces, leur extinction et l'introduction d'espèces nouvelles ne sauraient être uniquement dues à des changements dans les diverses conditions physiques, mais qu'elles dépendent d'une loi générale qui gouverne toute la nature organique; M. Barrande, l'illustre explorateur de la Bohême, tirant de ses nombreuses observations des conclusions analogues, reconnaît la nécessité de chercher la loi de ces grandes mutations qu'ont subi parallèlement les formes vivantes dans les plus différentes régions[1]. Cette loi est celle de sélection naturelle.

V

Séparation des rameaux issus d'une souche commune. — Divergence des caractères. — Extinctions de types intermédiaires. — Insuffisance des documents géologiques.

Nous avons vu plus haut M. Darwin appeler les variétés des espèces naissantes, mais comment alors les différences plus faibles qui séparent les variétés s'accroissent-elles jusqu'à produire les

[1] Un fait de la plus haute importance, c'est que les formes organiques ont changé presque simultanément dans le monde entier. De sa constatation datent, comme on sait, les immenses services rendus par la paléontologie à la science des évolutions du globe. Grâce à lui, le géologue peut maintenant reconnaître toute formation dans les contrées les plus éloignées les unes des autres, et conclure de l'identité des fossiles à la contemporanéité de sédiments parfois très-différents au point de vue stratigraphique ou minéralogique.

Mais ce grand résultat de l'observation n'est issu que d'un examen d'ensemble : aussi n'empêche-t-il pas que certaines espèces se soient modifiées avec des vitesses bien différentes. Ainsi, sur les côtes du Cotentin et aux environ d'Anvers, on trouve, dans des couches argilo-sableuses de l'époque pliocène, au milieu d'une multitude de formes éteintes, un certain nombre de coquilles qui se retrouvent encore actuellement dans la Méditerranée. Les Té-

différences plus grandes qui distinguent les espèces? Si nous faisons appel à ce que l'on sait touchant les races domestiques, et surtout à ce fait reconnu que les éleveurs ou les amateurs ne s'attachent qu'aux types extrêmes et refusent toute attention aux types intermédiaires, nous reconnaîtrons aisément que la diversité des goûts ou des intérêts a pu, grâce à une élection soignée, augmenter constamment des dissemblances à peine appréciables dans l'origine, et faire diverger de forme, d'organisation et d'habitudes, soit les variétés entre elles, soit chaque variété de la souche-mère dont elle est issue [1].

Or, cette divergence de caractères que nous voyons se manifester dans les productions de l'homme agit avec toute efficacité, à l'état de nature, en vertu de ce principe bien démontré que la plus grande diversification possible d'organisation permet la plus grande somme de vie possible : les descendants modifiés d'une espèce quelconque réussissent en effet d'autant mieux à se multiplier qu'ils se diversifient davantage dans leur structure, leur constitution et leur genre de vie, parce qu'ils deviennent alors capables soit d'empiéter sur les places occupées par d'autres êtres dans l'économie de la nature, soit de s'approprier les stations vacantes ou imparfaitement remplies.

La concurrence vitale et la rapidité avec laquelle se multiplient les êtres organisés, s'accordent ainsi pour maintenir à peu près au complet la population de toute contrée donnée : à mesure qu'une espèce, en voie de subir des modifications avantageuses, accroît le nombre de ses individus, les formes moins favorisées deviennent fatalement de plus en plus rares ; elles courent

rébratules, les Lingules, les Nautiles et les autres genres qui ont traversé toute l'immense série des âges géologiques et qui se sont trouvés contemporains de tant de générations anéanties ou profondément modifiées, diffèrent à peine aujourd'hui de ce qu'ils étaient lors du dépôt des strates siluriennes.

[1] « Dès les temps les plus reculés, fait observer M. Darwin, certains individus, par exemple, ont préféré les chevaux les plus vites, et d'autres les chevaux plus trappus et plus forts. La différence première était peut-être insignifiante; mais dans le cours du temps, l'élection continuelle des Chevaux les plus agiles par certains éleveurs, et des plus robustes par les autres, a dû rendre cette différence assez prononcée pour qu'elle formât deux sous-races, et, après des siècles écoulés, ces deux sous-races sont devenues deux races permanentes et bien distinctes. A mesure que ces différences devenaient plus frappantes, les sujets inférieurs, c'est-à-dire intermédiaires en caractères, ont dû être négligés, et par conséquent disparaître. »

même la chance d'être entièrement exterminées, car, ainsi que le témoignent les faits géologiques, la rareté et l'infériorité de la variabilité, qui en est la conséquence immédiate, sont des présages certains d'une extinction prochaine. Puisque le nombre des espèces n'a pas été perpétuellement en augmentant, malgré l'apparition fréquente et la production continuelle des formes nouvelles, il faut bien, en effet, qu'il y en ait eu qui se soient éteintes à diverses époques, et que certaines d'entre elles soient encore, de temps à autre, sacrifiées au progrès de leurs rivales. Les disparitions peuvent donc être aussi bien attribuées au développement plus rapide d'espèces favorisées, qu'aux changements de température subis par la surface du globe et aux révolutions dont elle a été le théâtre.

Les divers groupes de formes organiques se sont perpétués pendant des périodes de longueurs très-inégales. La famille des Trilobites, dont on connaît déjà plus de quatre cents espèces, a disparu tout entière avant la fin de la période primaire; et, parmi les genres les mieux caractérisés de ce groupe de Crustacés, le genre Trinucleus ne va pas au delà du Silurien moyen[1]; un autre, le Paradoxides cesse même de se montrer dès les dernières strates du Silurien inférieur[2]. La famille des Brachiopodes, si riche et si variée à l'époque primaire n'est plus représentée aujourd'hui que par les Térébratules, les Rhynchonelles, les Orbicules, les Cranies et les Lingules; un grand nombre de ses formes se sont éteintes de bonne heure : ainsi, les Spirifers, si abondants dans les terrains palœozoïques ne se rencontrent plus au-dessus du Lias; les Calcéoles et les Pentamères finissent avec l'époque devonienne; les Productus disparaissent dans le Zechstein, après avoir pullulé d'une manière prodigieuse dans le Calcaire carbonifère. Parmi les les Céphalopodes, les Ammonites et les Bélemnites, si nombreuses dans les mers jurassique et crétacée, ne se sont pas continuées dans les terrains tertiaires.

La rapidité de l'extinction paraît proportionnelle à celle des transformations. Les habitants de la terre ferme doivent évidemment, en raison de la plus grande complexité des relations qu'ils

[1] Schistes verts de Ginetz (Bohême).
[2] Quartzites de Vézéla (Bohême). — Grès de Karadok et schistes de Llandeilo (Pays de Galles).

entretiennent avec le monde ambiant, se modifier plus vite que ceux des eaux ; or, on constate qu'ils sont aussi plus fréquemment exposés à disparaître. Autour de ce fait général, que les espèces les plus anciennes résident toutes dans la mer, on peut grouper de nombreux faits particuliers, intéressants à ce point de vue : telle est la contemporanéité de plusieurs espèces de Mollusques actuellement vivantes et des grands Mammifères perdus du pliocène et de la période glacière.

« Comme la sélection naturelle, dit M. Darwin, agit seulement en accumulant des variations favorables légères et successives, elle ne peut produire soudainement de grandes modifications, elle ne peut agir qu'à pas lents et courts. » Aussi l'aphorisme : *Natura non facit saltum* est-il en parfait accord avec la théorie de la transformation progressive des espèces : pourquoi, peut-on dire aux partisans des créations immédiates, pourquoi la nature n'a-t-elle pas fait un saut d'une organisation à une autre? pourquoi les êtres que vous supposez avoir été créés séparément sont-ils si communément reliés par des transitions graduées. »

Si l'on ne rencontre pas partout et toujours dans la nature les nombreuses formes de transition qui doivent nécessairement avoir existé d'après la théorie de descendance modifiée, cela tient principalement à ce que la lutte étant en général d'autant plus vive que les formes en concurrence sont plus étroitement alliées par leur structure, leur constitution et leurs habitudes, les degrés intermédiaires entre l'état primitif et l'état actuel, c'est-à-dire entre la plus et la moins parfaite des phases successives d'une espèce, ont dû, ainsi que la souche mère, disparaître peu à peu devant le progrès des variétés nouvelles.

Un petit nombre de types primitifs, intermédiaires en caractères entre les formes actuelles, ont pu transmettre jusqu'à notre âge, quelques rares représentants peu modifiés, et cela grâce à un concours de circonstances exceptionnellement favorables, et dû le plus souvent à ce que ces formes primitives présentent un certain état d'isolement propre à les mettre à l'abri d'une concurrence trop ardente : tels sont l'Ornithorhynque et le Lepidosiren, « sortes de fossiles vivants qui servent, jusqu'à un certain point, de transition entre des ordres zoologiques aujourd'hui profondément séparés. »

L'existence actuelle de nombreux organismes inférieurs, et la

profonde différence qu'on observe entre les formes extrêmes de chaque classe, n'offrent pas de difficultés pour la théorie de M. Darwin, car la sélection naturelle n'implique aucune loi nécessaire et universelle de développement progressif : elle se saisit seulement, comme on l'a vu, des variations accidentelles qui se présentent ; or, ces sortes de variations peuvent ne s'être offertes que très-rarement pour certains types primitifs, et, si l'immense majorité des êtres ont réellement progressé depuis l'origine de la vie, la paléontologie nous apprend que plusieurs des formes les moins élevées de la série organique, telles que les Foraminifères, ont présenté, pendant une longue série d'âges, l'état que nous leur trouvons aujourd'hui. D'ailleurs, les progrès de la plupart des membres d'une même classe n'entraînent pas nécessairement l'extinction de tous les êtres inférieurs ; il est bien probable, par exemple, que l'Amphioxe doit son existence actuelle à ce que les formes supérieures de la classe des Poissons entrent trop rarement en concurrence avec lui pour l'exterminer.

La sélection naturelle ne laisse pas seulement subsister un grand nombre d'êtres de structure peu développée, elle peut encore, en plusieurs cas analogues à celui des Lernéides, simplifier l'organisation d'une espèce par une métamorphose regressive qui la fait descendre dans la série naturelle ; mais, alors, c'est que les rangs trop serrés au-dessus d'elle ont fait de la dégénérescence un avantage pour cette espèce.

La disparition d'un grand nombre de formes organiques est la véritable cause de la possibilité où nous sommes aujourd'hui de constituer des groupes bien arrêtés [1] : c'est, en effet, l'absence de certaines espèces qui limite les genres actuels, c'est celle de certains genres qui dessine les ordres, enfin c'est l'extinction d'ordres entiers qui a scindé notre système naturel dans les classes actuelles.

Mais, si la chaîne organique a été ainsi brisée en une multitude

[1] On ne peut nier que les formes disparues ne nous aident souvent à remplir les lacunes parfois considérables qui existent entre les divers groupes actuels ; pour en citer un exemple frappant, nous rappellerons que le grand paléontologiste Owen a découvert de si nombreux liens de transition entre les Ruminants et les Pachydermes (considérés par Cuvier comme les deux ordres des Mammifères les plus distincts de la nature actuelle), qu'il a dû les réunir en un seul ordre.

de points, elle n'a pas perdu partout un égal nombre de ses anneaux : si la classe des Oiseaux se présente complétement isolée au milieu de l'embranchement des Vertébrés, nous pouvons observer, d'un autre côté, la conservation de plusieurs transitions très-nettes; il est certain, par exemple, que les formes qui reliaient primitivement les Poissons aux Batraciens et aux Reptiles n'ont pas dû subir beaucoup d'extinctions. Certaines classes aussi paraissent avoir très-peu souffert; dans celle des Crustacés, en particulier, les formes les plus diverses et les plus éloignées en apparence, sont encore rattachées les unes aux autres par une longue chaîne d'affinités, qui présente seulement çà et là quelques légères solutions de continuité [1].

[1] Nous croyons que le lecteur nous saura gré de lui mettre ici sous les yeux une page de M. Darwin, qui résume de la manière la plus claire et la plus instructive les effets des grands principes précédemment exposés *.

« On a quelquefois représenté les affinités des êtres de la même classe sous la figure d'un grand arbre; cette comparaison est très-exacte. Les rameaux et les bourgeons représentent les espèces vivantes; ceux qui ont végété et fleuri pendant les années précédentes représentent la succession des espèces éteintes. A chaque saison de croissance, tous les rameaux se sont efforcés de se ramifier encore de tous côtés, et de vaincre jusqu'à extermination les branches et rameaux voisins, de la même manière que les espèces et groupes d'espèces se sont efforcés de vaincre d'autres espèces dans la grande bataille de la vie. Les bifurcations du tronc divisées en grandes branches, et celles-ci en branches de moins en moins grosses ont été elles-mêmes un jour, lorsque l'arbre était jeune, de simples bourgeons; et cette connexion entre les bourgeons passés et présents, au moyen de branches ramifiées, représente parfaitement la classification de toutes les espèces vivantes et éteintes en groupes subordonnés à d'autres groupes. Des nombreux bourgeons qui florissaient lorsque l'arbre n'était qu'un arbuste, deux ou trois seulement, devenus maintenant de grandes branches, ont survécu et portent aujourd'hui encore toutes les autres branches; de même, parmi les espèces qui vécurent à des époques géologiques très-reculées, un bien petit nombre ont encore aujourd'hui des descendants modifiés. Dès la première phase du développement de l'arbre, plusieurs des rameaux qui auraient pu devenir plus tard des branches principales se sont desséchés et sont tombés; et ces branches perdues, de grandeurs diverses, peuvent représenter ces ordres entiers, ces familles, ces genres qui n'ont aujourd'hui aucun représentant vivant et qui ne nous sont connus qu'à l'état fossile. Comme on voit ici et là un jet fragile et mince s'élancer d'un des nœuds inférieurs d'un arbre, et arriver plein de vie jusqu'à son sommet, lorsque des chances heureuses le favorisent; de même nous voyons de rares animaux, tels que l'Ornithorhynque et le Lépidosiren, qui, à

* L'image employée par M. Darwin se présente au reste si naturellement à l'esprit que M. Naudin l'avait formulée dès 1852 (*Revue horticole*).

On est en droit de demander si la paléontologie a révélé l'existence de ces innombrables formes de transition que suppose la théorie de descendance modifiée. A cette question, la vérité nous oblige à répondre négativement, mais nous pourrions demander à notre tour si l'on oublie quelle est la grandeur du monde en comparaison de l'étendue bornée des régions dont on a pu jusqu'ici étudier avec soin les formations géologiques ; si la paléontologie possède aujourd'hui assez de documents pour établir avec certitude une généralité quelconque, et de quelle manière une science née d'hier et s'exerçant sur des faits d'une investigation si pénible pourrait légitimer sa prétention d'être complète.

Et, d'ailleurs, comment n'y aurait-il pas de nombreuses lacunes dans l'histoire de la nature éteinte, lorsque dans la nature vivante, incomparablement plus facile à explorer, des types de la plus haute importance au point de vue philosophique, comme l'Amibe et le Myélaire sont de découverte si récente !

Les preuves négatives qu'on voudrait tirer des documents paléontologiques sont sans aucune valeur ; il serait même tout à fait absurde de se fonder sur ce qu'une forme déterminée n'a pas été trouvée au-dessous de tel terrain, pour avancer qu'elle n'existait pas à une époque antérieure. On sait combien les conclusions des ouvrages de paléontologie, sur la première et sur la dernière apparition de plusieurs groupes d'animaux ou de végétaux se modifient rapidement par les observations ultérieures[1].

C'est un fait certain que des milliers d'espèces ont peuplé la

quelques égards, rattachent l'un à l'autre par leurs affinités deux embranchements principaux de l'organisation, arriver jusqu'à notre époque, apparemment soustraits aux fatalités de la concurrence par la situation protectrice de leur station. Comme les bourgeons, en se développant, donnent naissance à de nouveaux bourgeons, et comme ceux-ci, lorsqu'ils sont vigoureux, végètent avec force et dépassent de tous côtés beaucoup de branches plus faibles : ainsi, par une suite de générations non interrompues, il en a été, je crois, du grand *arbre de la vie* qui remplit l'écorce terrestre des débris de ses branches mortes et rompues, et qui en couvre la surface de ses ramifications toujours nouvelles. »

[1] Avant 1818, par exemple, on croyait généralement que le Paléotherium et l'Anoplotherium du Gypse des environs de Paris représentaient les premiers quadrupèdes à respiration complète qui eussent vécu sur la terre : tandis qu'aujourd'hui l'on sait, que l'un des dépôts les plus riches en Mammifères, le Schiste de Stonesfield, appartient aux étages moyens de la série secondaire.

terre sans laisser après elles aucun témoignage de leur existence : aucun organisme entièrement mou ne peut s'être conservé, et il serait facile de prouver que les parties dures elles-mêmes ne sont pas pour les animaux qui les possèdent un garant infaillible de leur conservation fossile.

Les nombreux groupes spécifiques qui semblent faire soudainement leur apparition dans les strates fossilifères, les plus anciennes que l'on connaisse encore, constituent une difficulté de la plus grave importance. « Cependant, dit M. Darwin, la plupart des raisons qui m'ont convaincu que toutes les espèces d'un même groupe descendent d'un progéniteur commun, s'appliquent avec une égale force aux espèces les plus anciennes ; je ne puis douter, par exemple, que toutes les Trilobites siluriennes ne soient descendues de quelque crustacé qui doit avoir vécu longtemps avant cette époque géologique. Conséquemment, si ma théorie est vraie, il est de toute certitude qu'avant la formation des couches siluriennes inférieures, de longues périodes se sont écoulées, périodes aussi longues et peut-être même plus longues que la durée entière des périodes écoulées depuis l'époque silurienne jusqu'aujourd'hui : et, pendant cette longue succession d'âges inconnus, le monde doit avoir fourmillé d'êtres vivants. » MM. Lyell et Forbes combattent d'ailleurs, avec plusieurs autres éminents géologues, l'opinion que les restes organiques des premiers dépôts siluriens représentent l'aube de la vie à la surface de notre planète ; la présence de matières carbonneuses et de nodules de phosphate de chaux dans quelques-unes des roches de l'époque dite azoïque, semble bien indiquer que, dès cette époque, il existait en effet des êtres vivants. Mais il reste toujours à se rendre compte de l'absence, dans les documents géologiques, des puissantes assises fossilifères qui, d'après la théorie de descendance modifiée, doivent nécessairement avoir été accumulées avant l'époque silurienne : à ce propos, l'on peut rappeler combien est exiguë la partie jusqu'ici explorée de l'écorce terrestre, et d'ailleurs, longtemps avant que vécussent les Paradoxides, le monde a très-bien pu présenter un aspect tout différent de l'actuel, et les sédiments primitifs, outre qu'ils ont dû subir de nombreuses et profondes dénudations, peuvent être aujourd'hui passés à l'état métamorphique ou former le lit inaccessible de nos vastes Océans

VI

Appui que trouve la théorie de M. Darwin dans les affinités mutuelles des êtres organisés. — Classification naturelle basée sur la communauté d'origine.

Les extinctions d'espèces et la divergence des caractères, ces deux sortes d'effets de la sélection naturelle agissant à travers la suite des âges sur les nombreux descendants d'une espèce favorisée, expliquent le classement des êtres en groupes subordonnés à d'autres groupes, en séries continues ou discontinues, parallèles ou divergentes, simples ou ramifiées, indépendantes ou anastomosées, et permettent de comprendre pourquoi toutes les formes éteintes et vivantes peuvent se grouper en un seul grand système.

Toute classification vraiment naturelle est, pour M. Darwin, essentiellement généalogique[1] : « La communauté d'origine, dit-il, est le lien caché que les naturalistes ont inconsciemment cherché sous prétexte de découvrir quelque mystérieux plan de création, d'énoncer seulement des propositions générales ou de rassembler des choses semblables et de séparer des choses différentes. » En partant de cette idée que « les termes de genres, de familles, d'ordres, n'expriment que les différents degrés de parenté entre les descendants d'un commun ancêtre, » les caractères de l'organisation se trouvent n'avoir de valeur réelle en matière de classification qu'autant qu'ils révèlent des affinités généalogiques, et l'on arrive ainsi à se rendre compte des règles et des méthodes suivies dans l'édification du système naturel. On voit clairement, par exemple, pourquoi les caractères de pure adaptation doivent être distingués avec soin de ceux qui expriment les rapports véritables. Il est certain que des animaux appartenant à deux lignées d'ancêtres très-distinctes peuvent néanmoins s'approprier à des conditions semblables et revêtir ainsi des formes analogues : quiconque possède les premiers éléments de la science peut faire une

[1] C'est déjà en raison des rapports généalogiques que nous classons les individus des deux sexes dans une même espèce, bien qu'ils aient parfois peu de caractères communs : ainsi, l'on sait combien se ressemblent peu le mâle et la femelle chez plusieurs Articulés, tels que les Lampyres, les Cébrions, les Cochenilles, les Jones, les Lernéides, etc.

juste estimation de ces ressemblances extérieures, grâce auxquelles on a si longtemps méconnu la grande distance qui sépare les Cétacés des Poissons[1].

La ressemblance fondamentale de structure, complétement indépendante du genre de vie, l'uniformité de composition et l'identité de plan qu'on observe chez tous les représentants d'un même groupe, tout à fait inconciliables avec l'hypothèse des créations spéciales, s'accordent au contraire de la manière la plus parfaite avec le principe de communauté d'origine[2].

MM. Milne Edwards et Agassiz regardent avec raison les caractères embryogéniques comme les plus importants de tous pour le groupement naturel des corps organisés, et il est facile de voir pourquoi de tels caractères présentent une si grande valeur au point de vue d'une classification impliquant l'idée de rapports généalogiques. L'embryon, c'est l'être dans un état moins modifié, et, par cela même, il nous révèle la structure de ses anciens progéniteurs : lorsque deux groupes d'animaux, quelles que soient actuellement les différences de leur organisation ou de leur genre de vie, passent par une phase embryonnaire semblable, nous pouvons tenir pour certain, d'après M. Darwin, qu'ils descendent

[1] L'analogie de conformation que présentent des animaux différents par le type, mais semblables par le genre de vie, est surtout remarquable entre les Rongeurs et les Insectivores. Dans les deux ordres, en effet, on rencontre des marcheurs, le Rat et la Musaraigne ou *Rat* de sable (*Mus araneus*); des nageurs, l'Ondatras de l'Amérique septentrionale et le Desman ou *Rat* musqué de Russie; des grimpeurs, l'Écureuil et le Tupaïa, confondus sous le même nom lorsqu'ils habitent les mêmes lieux; des fouisseurs, le Rat-*Taupe* et la Taupe; des marcheurs-fouisseurs, le Porte-Épic et le Hérisson, tous deux couverts de piquants; enfin, des sauteurs, la Gerboise et le Mucrocélide ou *Rat* à trompe de l'Algérie.

[2] « La probabilité de la théorie de l'évolution, » dit M. Alph. de Candolle, dans un travail récent sur l'espèce, « devrait frapper surtout les hommes qui répugnent à l'idée d'une force créatrice, aveugle ou capricieuse, ayant donné aux Mammifères du sexe masculin des mamelles rudimentaires inutiles, à quelques Oiseaux des ailes qui ne peuvent servir à voler, à l'Abeille un dard qui la fait mourir si elle l'emploie pour sa défense, au Pavot et à plusieurs Campanules dont la capsule est dressée, une déhiscence de cette capsule vers le sommet qui rend sa dissémination difficile, aux graines stériles de beaucoup de Composées une aigrette, et aux graines fertiles point d'aigrette ou souvent une aigrette qui se sépare de la graine au lieu de la transporter.

tous les deux des mêmes parents. L'identité d'évolution embryonnaire nous apprendrait donc la communauté d'origine en dépit des altérations et des modifications subséquentes, qui ont tendu à la rendre méconnaissable.

Si les divers types d'un même groupe ont été en effet créés indépendamment les uns des autres, pourquoi présentent-ils entre eux une si grande ressemblance dans les premières phases de leur développement; pourquoi certains organes, qui devront être un jour très-différents de formes et de fonctions, sont-ils d'abord parfaitement identiques, pourquoi les embryons offrent-ils souvent des caractères qui n'ont aucun rapport avec les conditions d'existence de l'adulte : comment expliquer, en particulier, que les Mammifères et les Oiseaux, destinés à vivre dans l'air, possèdent à un moment des fentes branchiales et des arcs aortiques comme un Poisson ou une larve de Batracien.

L'existence d'organes rudimentaires, qui présente des difficultés insolubles pour les partisans des créations immédiates, se comprend aisément lorsqu'on admet la théorie de descendance modifiée[1]. Ces sortes d'organes montrent avec évidence qu'un ancêtre plus ou moins éloigné les a possédés à l'état parfait; les dents fœtales des Baleines et des Oiseaux, par exemple, ne peuvent que dériver d'un état antérieur de leur possesseur actuel, chez lequel elles se sont conservées par hérédité. « Au point de vue de la création indépendante de chaque être vivant, n'est-il pas incompréhensible, dit M. Darwin, que tant d'organes rudimentaires portent aussi fréquemment le caractère de la plus complète inutilité. Il semble que, là comme dans les analogies de structure, la na-

Toutes ces singularités, tranchons le mot, ces défauts, répugnent et embarrassent dans la théorie de création directe des formes telles que nous les voyons, ou telles qu'on les a vues aux diverses époques géologiques; mais il en est autrement dans le système de l'évolution. Ces inutilités ou ces défectuosités d'organisation seraient pour chaque être un héritage d'aïeux à qui elles profitaient, dans des conditions d'organisation plus ou moins différentes, avec des ennemis différents ou des conditions physiques d'une autre nature. »

[1] « On reconnaîtra, dit M. Pictet, que la théorie de M. Darwin cadre très-bien avec les grands faits de l'anatomie comparée et de la zoologie. Elle se prête en particulier admirablement à expliquer l'unité de composition organique, les organes représentatifs ou rudimentaires, les séries naturelles que forment les espèces et les genres. »

ture ait pris la peine de nous révéler son plan de modification, et que volontairement nous nous refusions à le comprendre. »

Nous venons de passer en revue les principaux points de la théorie soutenue dans le livre de M. Darwin, mais en dehors de l'ouvrage même dont nous voulons faire saisir l'importance au lecteur, l'étude de l'origine des espèces suscite plusieurs réflexions intéressantes sur la marche de la science et sur le mode de procéder de l'esprit humain

On peut d'autant mieux suivre le travail que fait l'entendement dans la recherche de la vérité qu'on le voit s'exécuter de plus près, et les sciences naturelles arrivant à peine à ce qu'on pourrait appeler l'âge adulte, nous permettent de tirer de leur marche ascensionnelle un enseignement précieux.

D'abord on accumule les faits, l'antiquité et la première partie des temps modernes se passent à ce pénible labeur ; on décrit avec soin les types principaux, on pousse cette analyse jusqu'aux collections d'individus ; on décrit l'espèce, puis la variété. Le naturaliste occupé à ce travail de description s'y absorbe ; sous sa loupe les différences grossissent, s'exagèrent, le nombre des espèces s'accroît à l'infini ; l'excès de cette division, produit par la perfection même de ce travail de description si utile, amène une réaction ; on se perd dans ces minuties, une réforme est nécessaire : c'est alors que les naturalistes songent à employer la méthode expérimentale, et à reconnaître par l'élevage et la culture si les types divers observés, correspondent, en effet, à des espèces différentes. Ce sera l'honneur du Muséum d'histoire naturelle d'avoir contribué puissamment à mettre en lumière toute l'importance de ce mode d'investigation ; M. Decaisne, M. Naudin cultivent les espèces polymorphes, les poiriers, les cucurbitas, les cucumis, les daturas, et arrivent à réunir en un seul groupe les nombreuses variétés qu'on avait à tort séparées.

Les différences ne sont pas aussi grandes qu'elles paraissaient au début de l'observation, alors on s'attache aux caractères communs, aux analogies de structure : un air de parenté se révèle bientôt entre les divers membres d'un même groupe, et la doctrine positive de descendance modifiée tend à se substituer à l'hypothèse anti-rationnelle des créations indépendantes.

Cette doctrine, qui paraît destinée à s'affermir de plus en plus

par le progrès continuel de la science, devait atteindre, dès notre époque, un haut degré d'autorité et de certitude : M. Darwin, en jetant un regard profond dans le monde organique, y découvre les effets d'un agent puissant non encore soupçonné, la *sélection naturelle*, et dès lors, le grand problème relatif au mode d'apparition des nombreux êtres qui se sont succédé à la surface du globe, ne paraît plus insoluble.

L'*Origine des espèces*, en faisant, ainsi que nous l'avons vu, tout remonter à un petit nombre de principes simples et bien définis, appelle un sérieux examen de la part des naturalistes-philosophes : nulle œuvre n'est en effet plus digne de leur attention, et quiconque saura apprécier toute la rationalité des vues et toute la force des arguments de M. Darwin, comprendra aisément que le savant auteur puisse en appeler avec confiance à l'avenir.

Ed. Vignes.

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

MÉCANIQUE

ART DE L'INGÉNIEUR

I

LE PASSAGE DES ALPES

I

Ceinture de l'Italie. — Les dieux tombés du ciel. — Les héros. — Voyage à pas de géant à travers l'histoire. — Les Gaulois. — Pyrrhus. — Annibal. — Les derniers envahisseurs. — Un tableau de M. Thiers.

L'Italie est une sorte d'Éden dont la nature semble avoir voulu défendre l'accès : la mer Tyrrhénienne, la mer Ionienne et l'Adriatique la protégent de trois côtés; les Alpes complètent la ceinture et forment une agrafe de sept à huit cents kilomètres.

Confier à un dragon la garde de la Toison d'Or, c'est donner la tentation de s'emparer du talisman; c'est suggérer à Jason l'entreprise des Argonautes, et lui donner l'idée de recourir aux artifices de Médée. — La nature a eu beau faire, de toutes parts et en tout temps on a forcé l'entrée de l'Italie. L'exemple est parti d'en haut; les premiers envahisseurs sont venus du ciel : Saturne, détrôné par Jupiter, se cache dans le Latium. Eût-il été prudent

de repousser le dieu déchu? Janus pensa le contraire; il l'accueillit et lui concéda le mont Capitolin. Après Saturne ce fut le tour d'Hercule. — Disons, pour excuser l'Olympe, que l'Italie toucha le prix de sa soumission ou, selon d'autres, de son hospitalité. Hercule abolit l'usage des sacrifices humains et délivra les campagnes voisines de l'Aventin, du brigand Cacus; Saturne enseigna aux Latins l'art de cultiver la vigne et de couvrir la terre d'une riche moisson d'épis.

Aux dieux succédèrent les héros. — Énée, après avoir été longtemps le jouet des mers, salua l'Italie comme une terre promise, et Latinus, heureux sans doute de s'allier au fils de Vénus, traita avec l'envahisseur et lui offrit la main de Lavinie. Mais laissons là les dieux tombés du ciel et les héros jetés sur le rivage, arrivons aux mortels qui osèrent franchir les barrières naturelles de l'Italie.

Au premier rang, l'histoire place nos ancêtres. Vers l'an 600 avant Jésus-Christ, des Gaulois escaladent les Alpes. Après une halte de deux siècles dans la fertile vallée du Pô, ils s'élancent sur l'Étrurie. Trente mille Senons, sous la conduite de leur Brenn, viennent demander des terres aux habitants de Clusium. Qui ne connaît l'issue de cette invasion? — La bataille de l'Allia; le désastre des Romains; l'aile gauche et le centre de l'armée taillés en pièces, l'aile droite n'échappant au massacre que pour assister, du haut du Capitole, à la destruction de Rome... du sang, des ruines, et, plus tard, l'extermination des derniers rejetons des envahisseurs!

Une autre fois, l'ennemi apparaît au midi, sur les côtes de Tarente. Pyrrhus jette, sur les rives italiennes, vingt-cinq mille hommes et je ne sais quel nombre d'éléphants. Les cris et l'aspect sauvages des Gaulois avaient épouvanté les Romains à l'Allia; les éléphants de Pyrrhus gagnent la bataille d'Héraclée.

A soixante ans de là, cinquante mille hommes campent au pied des Alpes. A leur tête est Annibal qui vient de traverser le midi de la Gaule, enjambant les fleuves et chassant devant lui, comme des troupeaux effarés, les tribus qu'il rencontre. Il mesure des yeux les remparts qui l'arrêtent; sa vue perce les rochers... De l'autre côté des monts s'étendent de riantes campagnes. Il donne le signal de l'assaut. Le roc s'ouvre pour lui livrer passage. « Suivez-moi, dit-il à ses troupes, en leur montrant du doigt le côté où se trouve

Rome; suivez-moi, ce sont les murs de la ville que vous escaladez. »

Après Annibal viennent les Cimbres, puis Alaric, puis Radagaise. Qui sais-je encore? — Attila, Théodoric, Théodebert, Alboin, Charlemagne. Après Charlemagne, Pépin; après Pépin, Othon, Barberousse, Charles VIII, Louis XII, François I[er]. Après François I[er], Richelieu; après Richelieu, Bonaparte...

On connaît les pages que l'entreprise titanique de l'Annibal moderne a inspirées à l'auteur du Consulat et de l'Empire. Citons-en un fragment qui porte avec lui son enseignement; touchant épisode jeté dans le tableau grandiose du Saint-Bernard.

« C'était le 20 mai 1800. Bonaparte se mit en marche pour traverser le col. L'aide de camp Duroc et son secrétaire de Bourrienne l'accompagnaient... Il gravit le Saint-Bernard, monté sur un mulet, revêtu de cette enveloppe grise qu'il a toujours portée, conduit par un guide du pays, montrant, dans les passages difficiles, la distraction d'un esprit occupé ailleurs, entretenant les officiers répandus sur la route, et puis, par intervalles, interrogeant le conducteur qui l'accompagnait, se faisant conter sa vie, ses plaisirs, ses peines, comme un voyageur oisif qui n'a pas mieux à faire. Ce conducteur qui était tout jeune, lui exposa naïvement les particularités de son obscure existence, et surtout le chagrin qu'il éprouvait de ne pouvoir, faute d'un peu d'aisance, épouser l'une des filles de cette vallée. Le premier consul, tantôt l'écoutant, tantôt questionnant les passants dont la montagne était remplie, parvint à l'hospice, où les bons religieux le reçurent avec empressement. A peine descendu de sa monture, il écrivit un billet qu'il confia à son guide, en lui recommandant de le remettre exactement à l'administrateur de l'armée, resté de l'autre côté du Saint-Bernard. Le soir, le jeune homme, retourné à Saint-Pierre, apprit avec surprise quel puissant voyageur il avait conduit et sut que le général Bonaparte lui faisait donner un champ, une maison, les moyens de se marier enfin et de réaliser tous les rêves de sa modeste ambition... Cet acte singulier de bienfaisance est digne d'attention. Si ce n'est là qu'un pur caprice de conquérant, jetant au hasard le bien ou le mal, tour à tour renversant des empires ou édifiant une chaumière, de tels caprices sont bons à citer, ne serait-ce que pour tenter les maîtres de la terre. Mais un pareil

acte révèle autre chose. L'âme humaine, dans ces moments où elle éprouve des désirs ardents, est portée à la bonté; elle fait le bien, comme une manière de mériter celui qu'elle sollicite de la Providence.

. . . .

« Le premier consul descendit ensuite rapidement, suivant la coutume du pays, en se laissant glisser sur la neige et arriva le soir même à Étroubles[1]... »

Le malheur de toutes ces expéditions, c'est qu'elles eurent pour mobile l'égoïsme; — égoïsme personnel, l'un des vices les plus détestables sortis de la boîte de Pandore, ou égoïsme national, excès blâmable de cette vertu qu'on nomme le patriotisme.

De nos jours aussi, on songe à franchir les Alpes; mais un but plus élevé dirige nos contemporains. On parle encore de conquête; mais, cette fois, il s'agit de conquête pacifique. On rêve une invasion, mais une invasion réciproque, de l'Italie par la France, et de la France par l'Italie; — conquête mutuelle des peuples par le commerce et par l'industrie; — invasion de tous les bienfaits de la civilisation qui s'étend de plus en plus sur la carte du monde... C'est la fin du règne où l'épée est l'argument souverain; c'est l'aurore de la concorde universelle!

II

Les passages des Alpes. — Le Splügen. — Le Bernardino. — Le Lukmanier. — Le Saint-Gothard. — Le Simplon. — Tracé de la voie ferrée de Brieg à Domo d'Ossola.

Pour relier la France à l'Italie, malgré la barrière des Alpes, diverses solutions sont en présence. Les ingénieurs se partagent en plusieurs camps; les uns disent qu'il faut passer sous la montagne; les autres qu'il faut la franchir à ciel ouvert; d'autres proposent une transaction : gravir les rampes des cols et creuser des tunnels sous les faîtes. — Les premiers sont à l'œuvre. Au pied du mont Cenis, ils ont installé deux immenses vilebrequins qui déchirent les flancs du colosse. Ils veulent que la France et

[1] *Histoire du Consulat et de l'Empire*, tome I, livre IV. Paris. Paulin. 1845.

l'Italie se donnent la main sous un tunnel de plus de douze kilomètres.

Laissons de côté, pour y revenir plus tard, cette solution de la question, et prêchons une nouvelle croisade. Aussi bien un seul passage est insuffisant à travers la vaste chaîne des Alpes, et il convient de penser, dès à présent, à frayer d'autres chemins pour nos locomotives. Prouvons qu'il est possible, en tels et tels points, d'escalader les Alpes à ciel ouvert; démontrons, par des arguments sans réplique, des faits et des chiffres, que les plus imprudents ne sont pas ceux qui prétendent résoudre un tel problème, mais ceux qui regardent ce projet comme un rêve et que, si une compagnie s'organise, ce qui paraît probable, car les capitaux sont généralement clairvoyants, on franchira, avant quatre ans, la montagne en chemin de fer.

Les points principaux sur lesquels les ingénieurs doivent jeter les yeux pour établir des voies ferrées dans les Alpes sont les passages déjà ouverts, c'est-à-dire le Splügen, le Bernardino, le Luckmanier, le Saint-Gothard et le Simplon. — Afin de préciser les idées, entrons successivement en Italie par chacun de ces passages.

Commençons par le Splügen.

Si l'on remonte le Rhin à partir de Coire, la première vallée qui s'ouvre sur le Midi est celle du Rhin postérieur dont les eaux descendent de la montagne avec une impétuosité sauvage, et se mêlent, à Reichenau[1], à celles du Rhin antérieur. Engageons-nous dans cette vallée, et traversons en courant les bourgs de Katzis, au pied du Heinzenberg, et de Thusis, près duquel la Nolla se jette dans le Rhin. La gorge étroite dans laquelle nous entrons ensuite est la Via-Mala, à laquelle succède une vallée aux gais pâturages et aux pentes boisées. Quelques heures encore, et nous serons à Andeer (*fig.* 1). Ici, la route s'élève en zigzags et pénètre dans la gorge de Roflen; on marche sur Splügen, village de cinq cents âmes, où le chemin se croise avec celui du Bernardino; de nombreux lacets gravissent jusqu'au sommet de la montagne, à plus de deux mille

[1] Le château de Reichenau rappelle un souvenir historique. Vers la fin du siècle dernier, un voyageur frappait à la porte du manoir et demandait au châtelain un emploi de professeur de français et de mathématiques. Ce solliciteur, qui se faisait nommer Chabot, n'était autre que le duc de Chartres, le futur roi Louis-Philippe.

mètres de hauteur. Puis l'on descend vers la douane lombarde, et de là vers Isola. La route serpente au milieu de labyrinthes formés par les blocs détachés des montagnes voisines et dont la vallée de la Lira est remplie ; par-dessus les châtaigniers plantés au bord des précipices, la tour blanche de l'église de la Ma-

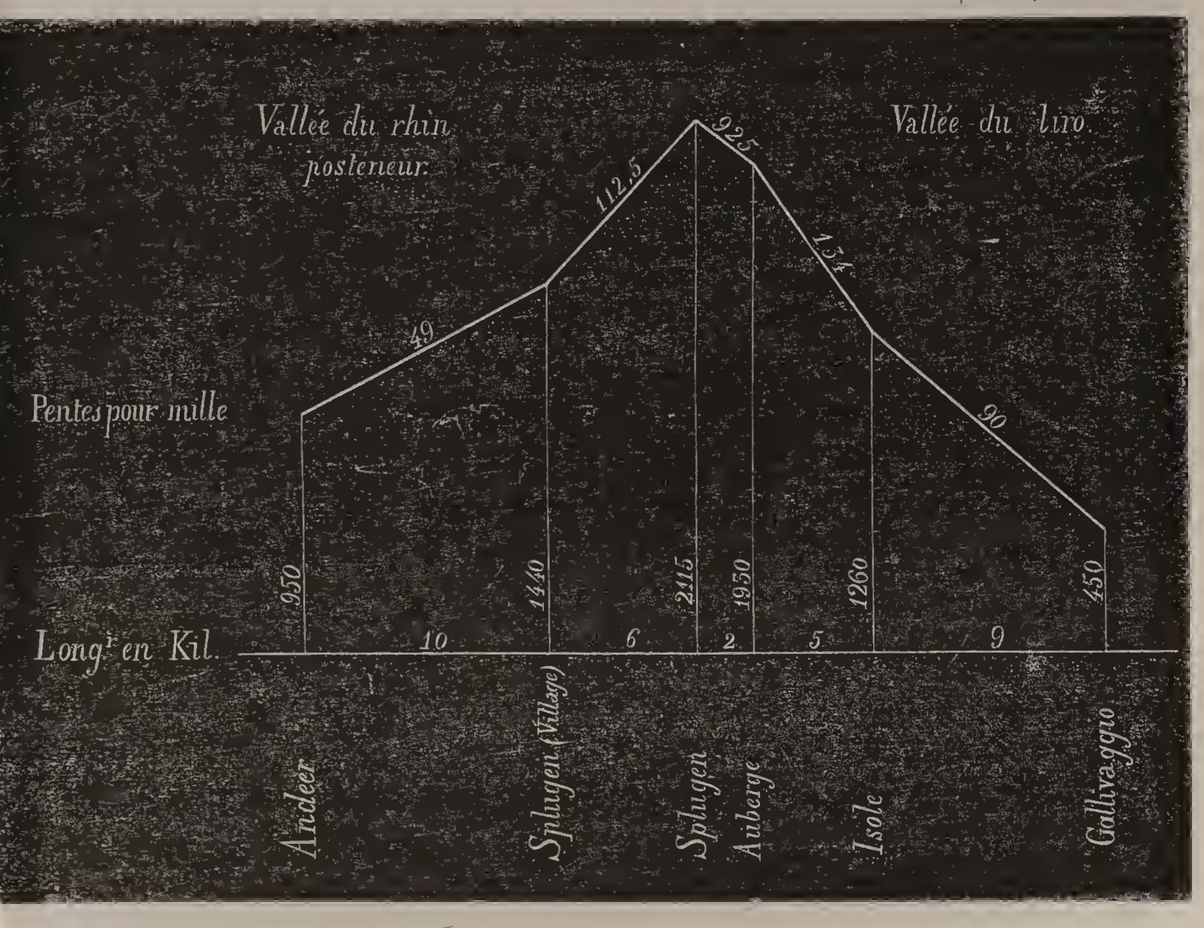


Fig. 1.

donna di Gallivaggio regarde passer le voyageur. Enfin l'on aperçoit San-Giacomo, et, dans le lointain, Chiavenna, avec ses grenadiers, ses vignes et ses figuiers. — C'est par le Splügen que le général Macdonald, au mois de décembre 1800, envoya, sous la conduite de Brune, une division chargée de couvrir le flanc de l'armée d'Italie. On sait que cette division dut suivre des sentiers suspendus au-dessus d'abîmes sans fond, et que des colonnes entières de soldats y furent entraînées par les avalanches. Une magnifique route de voitures, commencée en 1818 et terminée en 1823, remplace aujourd'hui ces sentiers, et permet de franchir, sans danger, cette portion des Alpes.

D'après les derniers tracés, un chemin de fer pourrait remonter

la vallée du Rhin postérieur jusqu'à Andeer, sans gravir des rampes de plus de 0m,020. Entre Andeer et Gallivaggio, dit M. Eugène Flachat, dont le nom reviendra souvent dans le cours de cette étude, le développement du thalweg du passage est de 32,000 mètres; un tracé en rampes de 50 millimètres aurait 56 kilomètres.

C'est à Splügen, ainsi que nous l'avons dit, que la route du Bernardino se sépare de la précédente. Elle passe à Hinterhein (*fig.* 2), à quelques lieues des sources du Rhin, s'élève, par vingt replis, le long d'une paroi escarpée, gravit un vallon désert, et parvient ainsi au Bernardino. La pente, sur le revers du sud, devient rapide. De riants paysages se succèdent; on traverse le val Mesocco; on passe la Moesa; on longe les ruines de quelques manoirs, et l'on arrive dans la campagne fertile de Soazza où finit la descente du Bernardino. — Ce n'est qu'au commencement du quinzième siècle que ce passage prit le nom qu'il porte aujourd'hui. Ce nom lui vient de la petite chapelle que l'on construisit, sur le revers méridional, lorsque saint Bernard de Sienne prêcha l'Évangile dans ces parages Au mois de mars 1799, quand le général Lecourbe vint attaquer les Autrichiens, il n'y avait encore, pour franchir les Alpes de ce côté, qu'un chemin de mulet étroit et dangereux. Il y a maintenant une route magnifique terminée vers 1823. — Entre Andeer et Soazza, le développement du thalweg du passage par le Bernardino est de 40 kilomètres. D'après les calculs de M. Flachat, un tracé de chemin de fer avec rampes de 50 millimètres aurait 54 kilomètres.

Au moyen âge, le passage le plus fréquenté était le Lukmanier [1]. C'est par là que Pépin et Charlemagne allèrent combattre les Lombards. — La route du Lukmanier s'engage dans la vallée de Medels, passe le Rhin antérieur près de Disentis (*fig.* 3), un peu au-dessus de sa jonction avec le Rhin moyen, et entre bientôt dans une gorge profonde. Plus loin on retrouve la vallée et on laisse à droite et à gauche quelques hameaux. Parmi ces hameaux est Perdatsch, où s'ouvre le Cristallinenthal, qui a fourni le cristal de roche du mausolée de saint Charles Borromée à Milan.

[1] Certains étymologistes pensent que ce nom est dû à l'hospice de Sainte-Marie fondé en 1774 par l'abbé Jean III de Disentis : *Santa Maria in luco magno.* — D'autres font venir Lukmanier de *lucidus mons*, montagne aux roches brillantes.

Entre deux ruisseaux, presque au faîte du Lukmanier, au débouché du val Cadelina, est l'hospice de Santa-Maria, dont les clo-

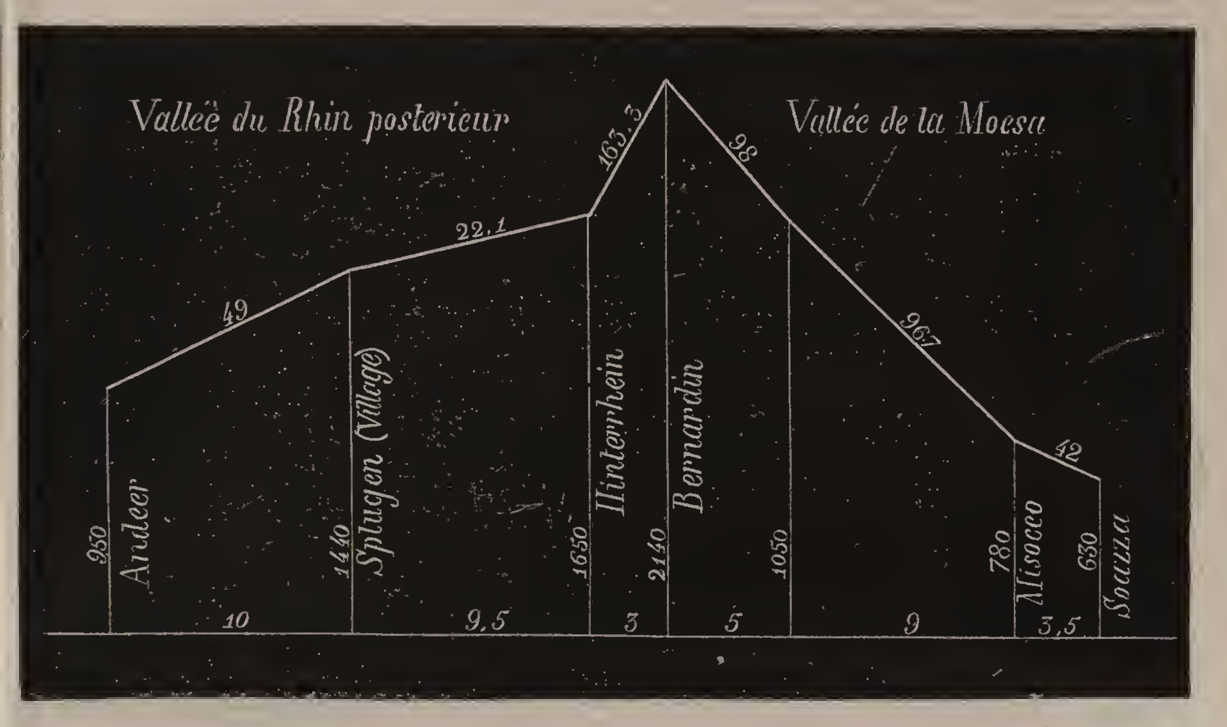


Fig. 2.

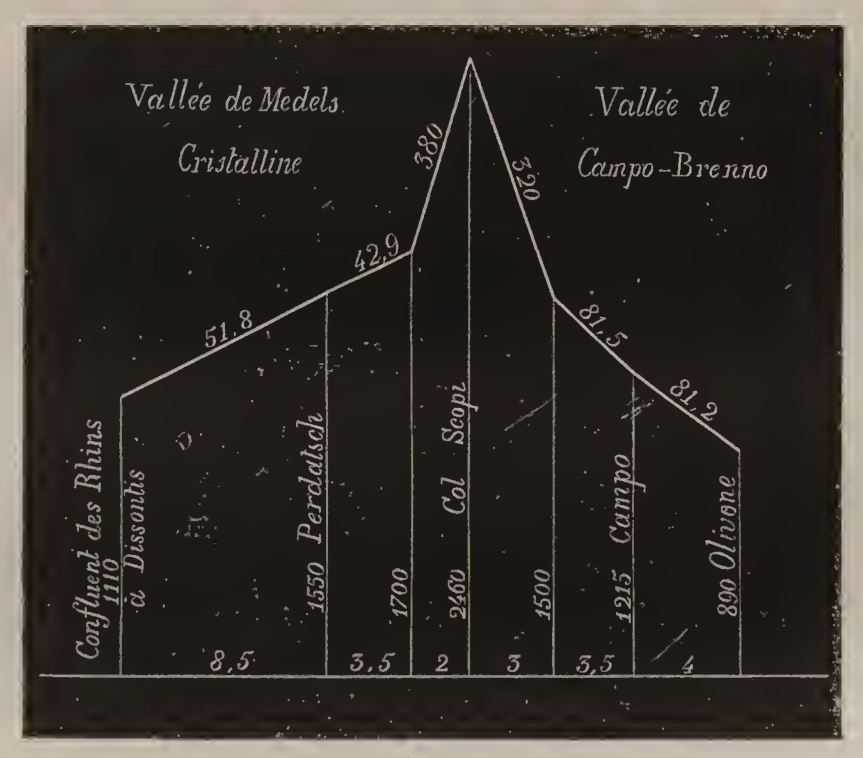


Fig. 3.

ches, pendant les orages, dirigent les voyageurs. Tout près est le Scopi, du haut duquel on plane sur des glaciers. De Santa-Maria

au point culminant, où une croix sépare les cantons des Grisons et du Tessin, il n'y a guère qu'une demi-heure de marche. La route s'abaisse ensuite vers le Zura, la partie supérieure du val Camperio, conduit à Olivone et se dirige, par Biasca, sur le lac Majeur. — Le thalweg du Lukmanier, entre Dissentis et Olivone, est de 24,500 mètres. Un tracé de chemin de fer, avec rampes de 50 millimètres, aurait 58,400 mètres.

Une autre route que l'on peut suivre pour passer les Alpes part du Fluelen, village du canton d'Uri, traverse Altorf, misérable bourg illustré par Guillaume Tell, puis Amstœg, et, plus loin, Wasen (*fig.* 4), où la pente du Saint-Gothard commence à devenir plus rapide. Au fond de la gorge sauvage des Schellinen, la Reuss se précipite avec fracas. Ici tous les souvenirs se rattachent à l'enfer : le pont du Diable, la montagne du Diable, etc.; le trou d'Uri est une galerie de 64 mètres de longueur, 4 de hauteur et 5 de largeur. En quittant cette galerie, on est dans la vallée d'Andermatt. Traversons rapidement cette vallée et le village du même nom; montons vers Hospital, et, après avoir atteint le point culminant et côtoyé les lacs du Saint-Gothard, descendons vers l'hospice voisin du Tessin. Les zigzags du chemin mènent dans une gorge sauvage que l'on appelle val Tremola. Après mille détours, on arrive à Airolo. — Le développement des thalwegs par lesquels on franchit le col du Saint-Gothard est, entre Wasen et Airolo, de 24 kilomètres. Un chemin de fer, avec rampes de 50 millimètres, aurait 45,200 mètres.

Quelques mots maintenant de la route du Simplon. De Brieg, où le chemin quitte la vallée du Rhône, à Domo d'Ossola, de l'autre côté des Alpes, on compte quatorze lieues que la diligence parcourt aujourd'hui en dix heures, sur une voie de huit mètres de largeur. Cette route fut entreprise après la bataille de Marengo, d'après les ordres du général Bonaparte, qui voulait que le canon pût passer les Alpes sans renouveler les prodiges du Saint-Bernard. Commencée en 1800 sur le revers italien, et en 1801 sur le revers suisse, elle fut achevée six ans plus tard, et coûta 18 millions de francs que payèrent la France et la république Cisalpine.

La montée commence à Brieg (*fig.* 5). A main droite, on laisse la route de Gliss et le pont couvert construit sur le torrent de la Saltine; on s'éloigne du Glisshorn, à travers de magnifiques prairies, et l'on se dirige vers le Klenenhorn. Le chemin tourne

ensuite au S.-O., pour entrer dans la vallée de la Saltine, qui roule ses eaux bruyantes au fond d'un précipice. Du premier refuge que

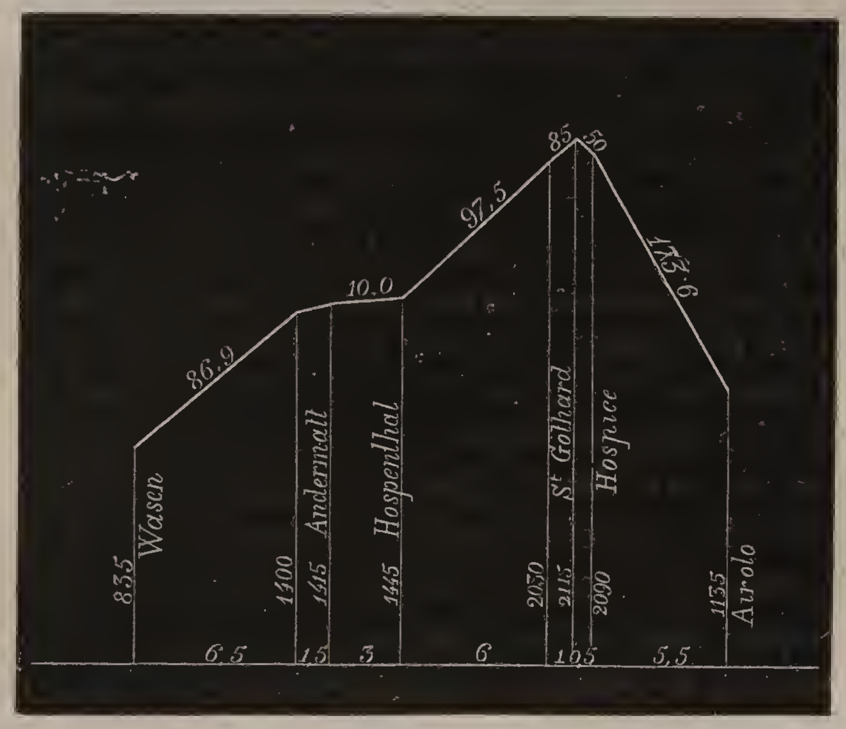


Fig. 4.

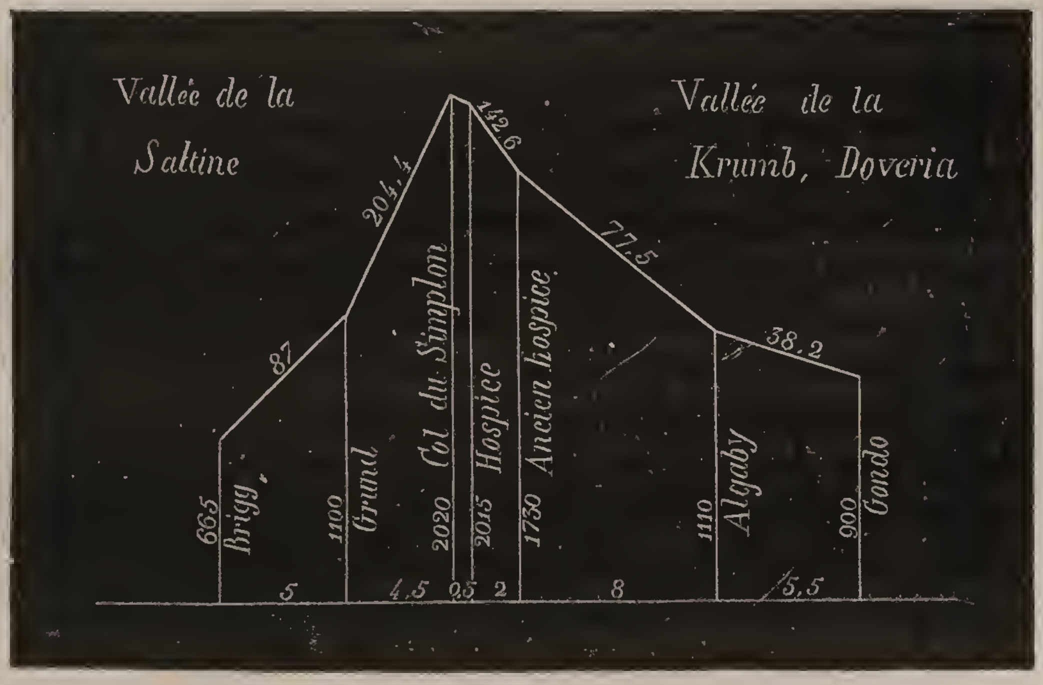


Fig. 5.

l'on rencontre, on découvre les glaciers près desquels se trouve le point le plus élevé du passage, et, vingt minutes après, le second refuge.— Ici la route fait un coude vers l'E., remonte la vallée de

la Ganther, franchit ce torrent, se replie sur elle-même et conduit à Berisaal, où elle serpente dans une forêt de sapins. Lorsqu'on sort de cette forêt, on plane au-dessus du village de Brieg, et l'on aperçoit, dans le lointain, les Alpes bernoises. Puis viennent la galerie de Schallbet, taillée dans le roc, à douze cents mètres environ au-dessus de Gliss, l'aqueduc du glacier de Kaltenwasser, et une autre galerie de cent trente pas de longueur. Une croix de bois marque le point culminant du passage. Tout près est le nouvel hospice fondé par Napoléon. — En descendant, on rencontre l'ancien hospice habité aujourd'hui par des pâtres ; on passe le Krummbach, puis le pont de Seng, et l'on arrive à Simplon. La route côtoie d'abord le Krummbach, puis s'en éloigne, revient sur elle-même, traverse la galerie d'Algabi et entre dans la gorge de Gondo, l'une des plus sauvages et des plus grandioses qu'il y ait dans les Alpes. Dans cette gorge, la route et le torrent semblent s'enlacer comme deux serpents. Un pont jeté sur la Doveria, le *ponte alto*, mène vers une seconde galerie, la galerie de Gondo, taillée dans le granit sous Napoléon[1]. Quand on sort de cette galerie, on voit le Fressinone se précipiter du haut des rochers et se jeter à quelque distance dans la Doveria. Gondo est le dernier village suisse que l'on rencontre. A Isella on est sur le sol italien. Une gorge déserte conduit à Crevola. On traverse la Doveria pour la dernière fois, et l'on entre dans le val d'Ossola, où les champs de maïs, les jardins plantés en terrasses, les vignes pliées en berceaux, les costumes des habitants, le parfum des plantes, tout, jusqu'à l'air qu'on respire, révèle le ciel de l'Italie.

Tel est, à grands traits, le passage du Simplon. Le thalweg de ce passage, entre Brieg et Gondo, a 25,500 mètres ; un tracé de chemin de fer, avec rampes de 50 millimètres, aurait 49,500 mètres.

Sur tout le versant nord, de Brieg au point culminant, et de ce point à Algabi, sur le versant méridional, la route militaire pourrait être côtoyée. Dans la gorge de Gondo, où le chemin s'engage entre des escarpements à pic de 5 à 600 mètres, un tracé en retour doublerait la distance, mais adoucirait la pente. De Gondo à Isella, et d'Isella à Domo d'Ossola, on longerait de nouveau la route militaire.

[1] Une inscription gravée sur le rocher en fait foi : *Ære Italo*, 1805, *Nap. Imp.*

A la naissance du versant nord, à partir de Brieg, le chemin de fer du Simplon descendrait la vallée du Rhône, et, véritable tête de ligne, lancerait des rameaux dans toutes les directions, sur le Jura, sur l'Alsace, sur la Suisse et sur la forêt Noire. Sion est déjà relié au lac de Genève; pour aborder le Simplon, il suffirait donc de construire de Sion à Brieg une voie de 52 kilomètres. Pareillement, du côté de l'Italie, des raccords d'une longueur à peu près égale rattacheraient Isella au port d'Arona, sur le lac Majeur [1].

La figure 6 résume les coupes dont nous avons parlé, et met, sous les yeux du lecteur, les thalwegs des différents passages des Alpes.

Les travaux nécessaires pour l'établissement d'un chemin de fer au Simplon conviendraient également pour tous les passages, car les conditions du problème sont, quelque route que l'on choisisse, à peu près identiques. Cependant, comme le chemin le plus court de Paris à Milan passe par le Simplon, c'est par là, selon nous, qu'il convient d'établir le premier chemin de fer dans les Alpes.

Après avoir planté les jalons de ce chemin, passons en revue les principales difficultés qui hérissent la question [2].

III

Les rampes du tracé par le Simplon. — De la puissance des locomotives. — Progrès des machines actuelles. — Matériel imaginé par M. Flachat. — Objections tirées de la climatologie des cols des Alpes. — Réponses à ces objections. — Devis du chemin de fer du Simplon.

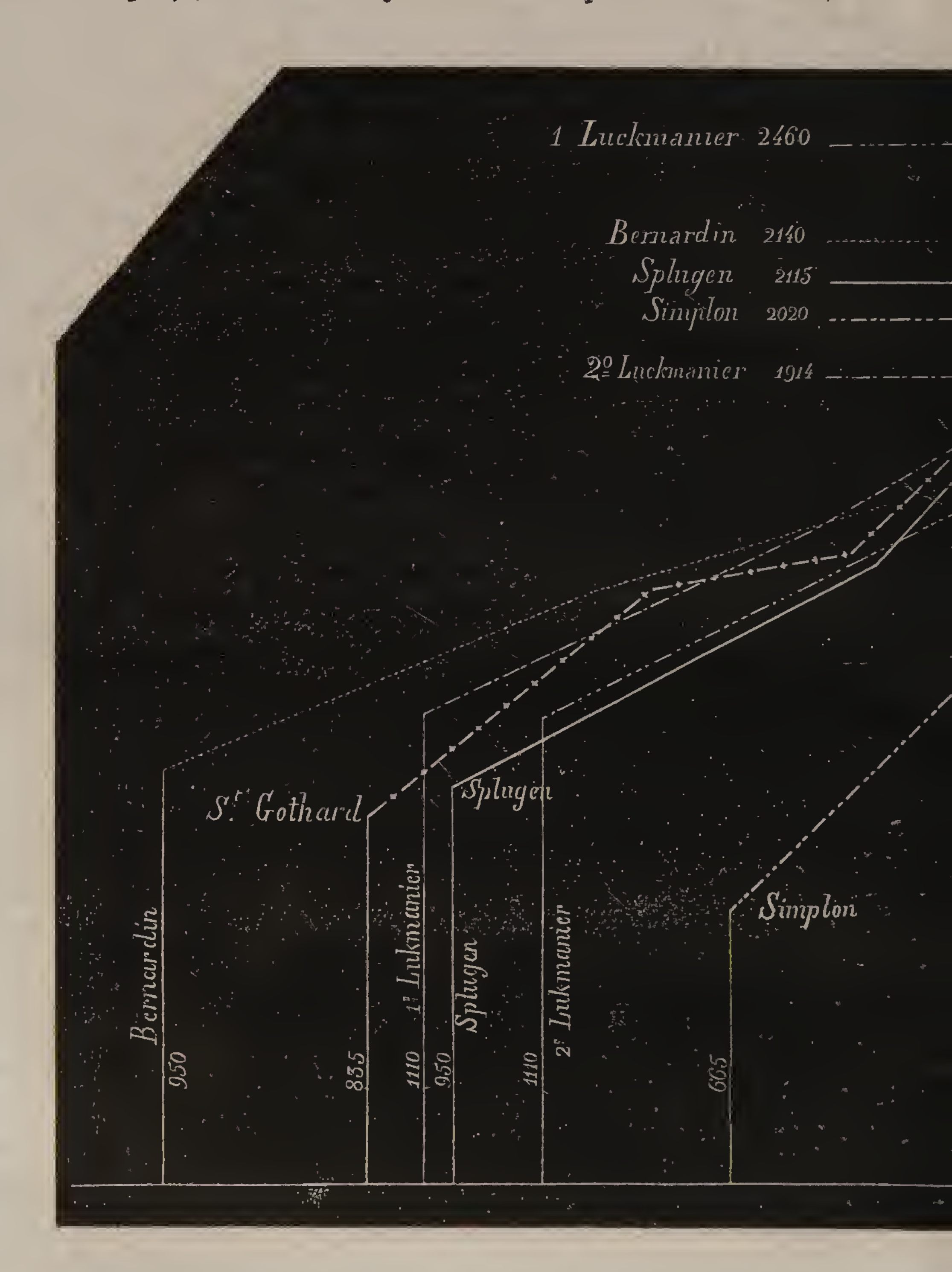
Les rampes que l'on devra gravir, pour franchir le Simplon à ciel ouvert, ne défieront-elles pas nos plus puissantes machines?

Lorsqu'on posa en France les premiers rails, on n'osait pas dépasser une pente de $0^{m},005$ par mètre. A la création du chemin de fer d'Orléans, quand l'ingénieur en chef annonça que la rampe d'Étampes aurait $0^{m},008$, on se récria de toutes parts : c'était

[1] Ces travaux sont commencés. Au mois de septembre 1863, nous nous sommes rencontré, au pied du Simplon, avec plusieurs membres de la commission internationale chargée d'une nouvelle étude de la question.

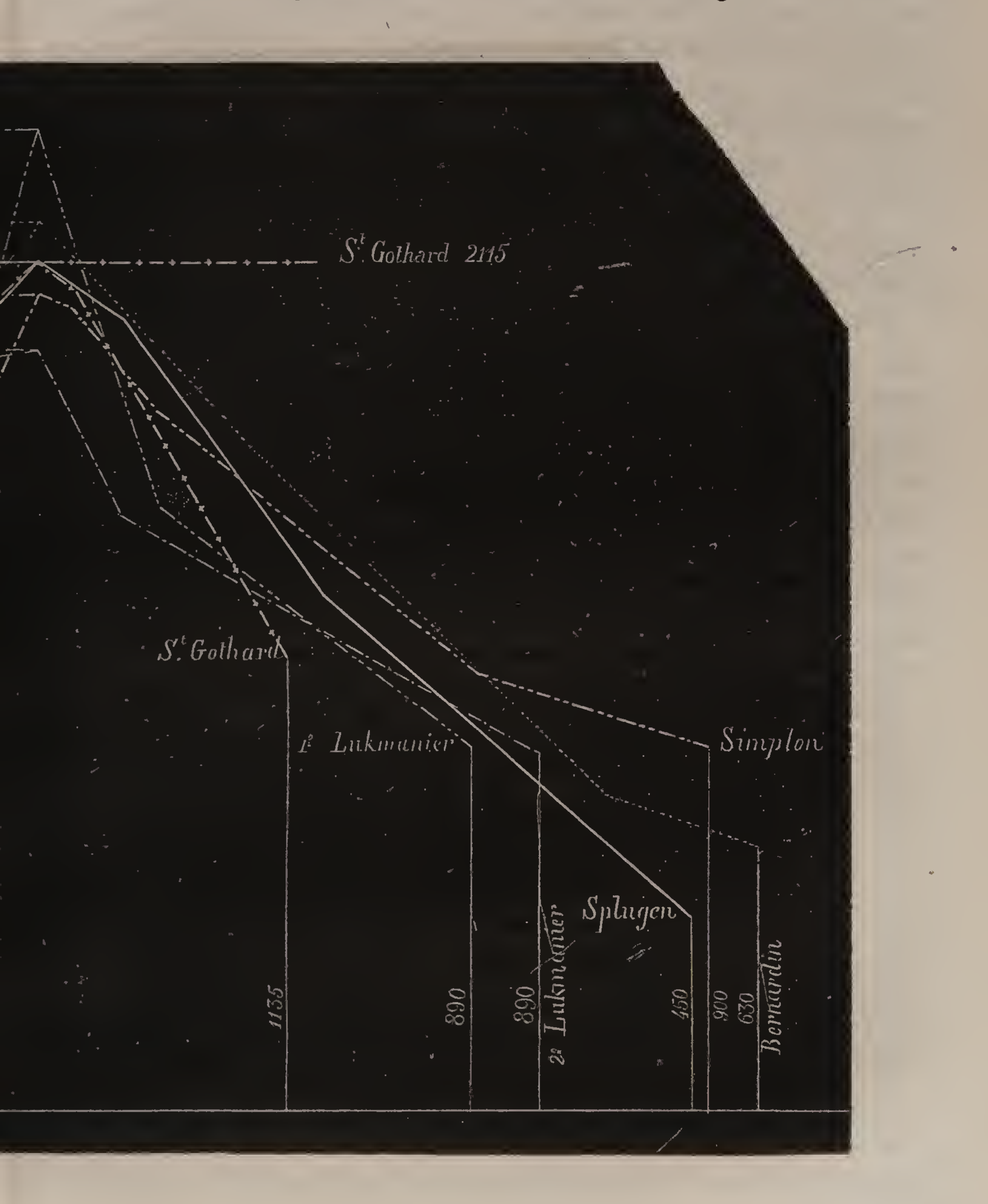
[2] On consultera avec fruit, sur ce sujet, l'excellente étude de M. Eugène Flachat sur la *Traversée des Alpes par un chemin de fer*, la brochure du colonel fédéral Barman, intitulée : *Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier* (Neuilly, Guiraudet, 1861), et celle de M. Marché (Lausanne, Blanchard, 1861).

fouler aux pieds les enseignements de l'expérience, c'était compromettre l'avenir de la ligne... Les plus hardis gardaient le silence. L'auteur du projet ne se laissa pas intimider par ces clameurs ; sûr



de ses calculs et de ses essais, il alla jusqu'au bout, et l'on sait aujourd'hui s'il eut raison. En voyant le succès obtenu sur la ligne d'Orléans, on se familiarisa avec des chiffres qui, auparavant, eussent semé l'effroi ; on parla, sans épouvante, d'inclinaisons de 10

et même de 15 millimètres. Sur le chemin de fer de Saint-Germain, *l'Antée* remorqua plus d'une fois la rampe du Pecq, qui est de 0m,030. Sur la ligne de Gênes à Turin, on atteignit le chiffre de



0m,036. M. Flachat va plus loin encore : il propose un tracé avec rampes de 50 millimètres.

Est-il besoin de dire que ce projet a soulevé des tempêtes? — On a prétendu qu'il ne serait pas possible de construire des ma-

chines capables de remorquer des trains de 200 tonnes sur de pareilles rampes. M. Flachat a répondu à cette objection en présentant le projet d'un matériel qui accomplirait ce miracle de traction. Pourquoi d'ailleurs nos ingénieurs ne feraient-ils pas ce que font les ingénieurs américains? — Il existe, aux États-Unis, dans cette grande chaîne de montagnes qui s'étend sur une longueur de 180 myriamètres, des confins de l'Alabama et de la Géorgie jusqu'à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent, dans les monts Alleghanys, des chemins de fer en pleine prospérité où l'on gravit des rampes de 50 à 60 millimètres.

Pour ne pas dépasser cette limite d'inclinaison, il est indispensable d'admettre une certaine flexibilité dans le tracé. De là des courbes qui, en général, ont un rayon supérieur à 100 mètres. Cependant, comme dans la gorge de Gondo le retour de la voie sur elle-même se fait dans un rayon de 25 mètres, la locomotive doit satisfaire à plusieurs conditions : non-seulement il faut qu'elle soit capable de remorquer, avec une vitesse convenable, sur une forte rampe, un train d'un poids assez considérable, mais encore elle doit pouvoir passer dans des courbes de 25 mètres de rayon. Voyons comment on peut triompher de cette double difficulté.

Dans les conditions normales, sur des rails secs et de niveau, l'effort nécessaire pour remorquer un train est de 5 kil. par tonne; c'est ce qu'expriment souvent les praticiens, en disant que le rapport du tirage à la pression égale 0,005. — En se plaçant au point de vue le plus désavantageux, c'est-à-dire en faisant la plus large part au mécanisme, aux courbes, à la résistance de l'air, à celle du vent, etc., ce rapport peut atteindre 0,008; c'est-à-dire qu'il faut alors exercer un effort de 8 kil. par tonne. Ajoutons que chaque millimètre de rampe exige un supplément d'effort de 1 kilogramme par tonne.

D'après cela, si l'on veut remorquer, sur un chemin de fer horizontal, dans les conditions les plus désavantageuses, un train pesant 200 tonnes, la machine motrice devra exercer un effort égal à

$$8 \times 200 = 1,600 \text{ kilog.}$$

S'il s'agit, de plus, de gravir une rampe de $0^{m},050$, comme il faut ajouter un supplément d'un kilogramme par millimètre, l'effort qu'on devra exiger de la machine s'accroîtra de 50 kil., ce qui

donne 58 kil. par tonne. Pour un train de 200 tonnes, il faudrait exercer un effort de

$$58 \times 200 = 11{,}600 \text{ kilog.} = 11 \text{ tonnes, } 6.$$

Existe-t-il, à l'heure qu'il est, des machines capables de produire un pareil effet? — Cette question nous fournit l'occasion de passer en revue les machines les plus puissantes qui aient été construites jusqu'ici.

D'une manière générale, on peut dire que la force des machines est limitée par deux causes : l'adhérence et la quantité de vapeur nécessaire pour produire le travail.

L'*adhérence* d'un véhicule est la résistance qu'il oppose au roulement ; cette résistance est due à la pression des roues sur la voie. L'adhérence d'une locomotive est estimée au 6e de son poids sur les roues accouplées. Pour que la machine remorque un train, il faut que la résistance au roulement soit au moins égale à l'effort de traction. Lorsque cette condition est remplie, la bielle motrice ne met pas impunément la roue en mouvement : la machine avance. Si, au contraire, l'effort qui agit à la circonférence de la roue est supérieur à l'adhérence, la roue tourne sur elle-même : on dit que la machine *patine*.

On voit, par là, qu'il ne suffit pas, pour remettre un convoi en marche, de produire un effort moteur considérable; il est, de plus, indispensable d'avoir une adhérence au moins égale à cet effort. Il en résulte que, si l'on veut remorquer un train de 200 tonnes, ou, ce qui revient au même, si l'on veut exercer un effort de 11,600 kil., sur rampe de $0^{m},050$, le poids de la locomotive devra être tel que l'adhérence de cette machine égale ou excède 11 600 kil. ; c'est ainsi qu'on arrive au chiffre approximatif de 70 tonnes[1].

[1] Un calcul extrêmement simple conduit à ce résultat :

Si l'on désigne par x le poids de la machine, l'adhérence sera $\frac{1}{6}x$, et l'on devra avoir la relation :

$$\frac{1}{6}x = \text{ou} > 11{,}600 \text{ kilogr.}$$

d'où $x = \text{ou} > 6 \text{ fois } 11{,}600 \text{ kilogr.}$

c'est-à-dire $x = \text{ou} > 69{,}600 \text{ kilogr.}$

La seconde cause qui limite la puissance des machines est, avons-nous dit, la quantité de vapeur nécessaire pour produire le travail. — A une vitesse de 16 kilomètres à l'heure, pour remorquer un train de 200 tonnes, sur rampe de 50 millim., il faut convertir environ 10,000 kil. d'eau en vapeur. Or, chaque mètre carré de surface de chauffe donne 28 kil. de vapeur d'eau par heure. La surface de chauffe de la locomotive des Alpes doit donc égaler

$$\frac{10000}{28} = 357 \text{ mètres carrés}^{1}.$$

C'est en prenant ces nombres pour points de repère que M. Flachat fait le procès des machines actuelles.

La locomotive que l'on croirait, au premier abord, la plus propre à remorquer, sur les rampes du Simplon, un convoi de 200 tonnes, est la machine Engerth[2], construite par l'usine du Creusot, pour le chemin de fer du Nord. Cependant, quelque grandes que soient les proportions de cette locomotive, elle n'a pas une surface de chauffe supérieure à 197 mètres carrés, sa puissance ne dépasse pas 7 tonnes. Joignez à cela que la machine du Creusot est incapable de passer dans des courbes de 200 mètres de rayon, car l'écartement extrême des essieux qui portent, sur un cadre rigide, la plus grande partie du générateur et du mécanisme, est de $3^m,95$; la machine Engerth ne peut donc convenir ni pour les rampes ni pour les courbes d'un chemin de fer dans les Alpes.

En étudiant, de la même manière, soit la machine du Bourbonnais, dans laquelle la locomotive et le tender sont séparés, soit la machine pour fortes rampes du chemin du Nord, modèle dans lequel tout est placé sur un seul véhicule, on arrive à cette con-

[1] La surface de chauffe n'exerce aucune influence sur l'effort au démarrage; elle n'intervient que pour augmenter la durée de cet effort.

[2] On sait que, jusqu'à l'invention d'Engerth, on ne comptait que deux systèmes de locomotives : l'ancien, dans lequel la locomotive et le tender ou fourgon d'approvisionnement forment deux véhicules indépendants; et le nouveau, dans lequel le tender et la machine ne forment qu'un seul véhicule et prennent, pour cette raison, le nom de machine-tender. — Engerth a perfectionné ce dernier système en articulant les deux châssis en avant du foyer et en reportant, sur les roues motrices, une partie du poids de l'approvisionnement.

clusion, qu'il faut créer une locomotive plus puissante que toutes celles que nous possédons[1].

C'est ainsi que M. Flachat a été conduit à imaginer lui-même un nouvel appareil locomoteur remplissant la double condition de force et de flexibilité.

La flexibilité s'obtient en employant des wagons portés sur des trucs à pivot. On monte sur ces wagons par des escaliers placés aux deux extrémités ; les escaliers conduisent à une plate-forme couverte, d'où les voyageurs dominent le pays comme s'ils se trouvaient au balcon d'un chalet. — Pareillement, la locomotive est jetée sur deux trucs ayant chacun six roues ; chaque truc a quatre cylindres, c'est-à-dire contient deux mécanismes de machine. La longueur du générateur peut atteindre 8 mètres. — Quant à l'adhérence, elle est portée à son maximum, grâce à une disposition particulière qui communique la force motrice, non-seulement aux roues des trucs de la machine, mais encore à celles des wagons. Cette ingénieuse disposition fournit le moyen d'utiliser, pour l'adhérence, le poids total du convoi.

« Le train, dit M. Flachat, sera composé de véhicules supportés par des châssis à quatre roues, dits américains, comme l'est le matériel suisse. Les essieux de chacun de ces chariots seront reliés par des manivelles et par des bielles, à des cylindres auxquels la vapeur, provenant d'un générateur placé à une extrémité du train, sera distribuée par un conduit. Si l'on suppose la dimension de ces cylindres telle, que la puissance mécanique transmise à chaque roue soit égale à l'adhérence, il n'y aura d'autre limite au poids du train que la quantité de vapeur produite par le générateur. »

Dans ce système, une des grandes difficultés consiste à amener la vapeur dans les cylindres dont tous les véhicules sont munis. Voici, à ce sujet, le projet de l'inventeur :

[1] M. Petiet vient d'inaugurer, au chemin de fer du Nord, un système de locomotive à quatre cylindres. Dans ce système, on atteint, pour la surface de chauffe, 250 mètres carrés et, pour la puissance de traction effective, 8,400 kilogr. Deux locomotives de ce genre, dit M. Petiet dans une notice qu'il a publiée, seraient en état de remorquer un train de 180,000 kilogr. de poids brut, sur des rampes de 50 millimètres par mètre.

« Le conduit de vapeur et d'échappement se composera, dans toutes les parties rigides, de deux tubes concentriques en fer forgé : l'intérieur servant pour la conduite de la vapeur, et l'extérieur, pour l'échappement. Ce double tube sera rigide entre les deux trucs de chaque véhicule, et porté par deux points de suspension placés chacun au centre de chaque truc, sous la cheville ouvrière. Il y aura un joint à dilatation entre les deux trucs. — Le joint tournant, employé à la prise de vapeur et au conduit d'échappement, dans les machines à cylindres oscillants, sera appliqué à la jonction des cylindres et des deux tubes de vapeur et d'échappement.

« Au point d'attache entre deux véhicules, le conduit de vapeur et celui d'échappement se sépareront. Ils affecteront la forme d'un demi-cercle, avec deux parties droites à l'emmanchement. La flexibilité du conduit de vapeur sera obtenue, en ce point, au moyen d'un premier fourreau en caoutchouc vulcanisé à 400 degrés, semblable à celui qu'on emploie aujourd'hui à la communication des machines avec le tender, et recouvert d'un étui composé de plusieurs enveloppes, dans la composition desquelles entreront des aciers feuillards en mailles ou en torons, de manière à prévenir l'extensibilité.

« Ce sont les branches de ce demi-cercle qui, pouvant s'ouvrir et se refermer sans déformer l'enveloppe, permettront la flexibilité nécessaire pour les courbes et pour les différences de niveau de la voie. Ces deux branches s'ouvriront et se fermeront, sans que ce mouvement modifie sensiblement leur forme et sans nuire à la résistance du conduit qui sera éprouvé pour 20 à 25 atmosphères. Les emmanchements des parties courbes et flexibles des tubes se feront par des raccords à vis à pas triangulaires, serrant sur des bagues en caoutchouc vulcanisé ou en cuivre rouge.

« Le conduit de vapeur sera préservé du froid, dans les parties rigides, par l'espace annulaire du conduit d'échappement. Celui-ci sera enveloppé de feutre, et placé dans une caisse en toile légère. Il en sera de même du mécanisme des châssis et de tous les appareils pouvant craindre le froid. »

Dans les descentes, on se servira, si l'on veut, du frein auquel on a recours, dans les ports de mer, pour modérer la descente des fardeaux suspendus aux chaînes des grues. C'est un demi-cercle en fer s'appuyant sur la partie supérieure de la roue, et permet-

tant de l'enrayer. Ce frein, dont la manœuvre est extrêmement simple, n'en est pas à son coup d'essai ; il a déjà fonctionné sur le chemin de fer d'Auteuil, et n'a été supprimé que parce qu'il avait une puissance exagérée pour les faibles rampes de cette ligne. On pourrait aussi employer le frein Molinos, que nous décrivons plus loin, dans l'article relatif au plan incliné de Lyon à la Croix-Rousse. Un jour, peut-être, le principe de M. Girard deviendra applicable aux rampes des Alpes; ce jour-là, le mécanicien disposera du frein le plus énergique qui ait jamais existé [1].

L'esquisse rapide que nous venons de tracer prouve, nous l'espérons, que les difficultés mécaniques du problème de la traversée des Alpes par un chemin de fer sont surmontées. Si nous sommes entré dans quelques détails techniques, c'est qu'il importait de démontrer, non par des artifices de langage, mais par des raisonnements et par des chiffres, la possibilité de résoudre une question devant laquelle, selon nous, l'art de l'ingénieur a trop longtemps reculé.

Les difficultés mécaniques ne sont pas les seules que présente le passage des Alpes; d'autres résultent de la climatologie des cols. Ces obstacles sont-ils plus insurmontables que les premiers? Examinons. Les neiges, par exemple, en recouvrant le chemin, ne s'opposeront-elles pas à la circulation? — Nous ne le pensons pas; le cas est prévu. Les jours de neige, des charrues déversoirs circuleront sur la voie. Dans les hautes régions, les trains auront deux charrues, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière. Le déversement sera d'autant plus facile, que le chemin, tracé sur le penchant de la montagne, présentera toujours un vide prêt à recevoir la neige déblayée. Pour suffire à ce travail, il ne faudra pas plus de six à huit cantonniers par kilomètre. — Sous un ciel où l'hiver a la même durée que dans les Alpes; où, pendant sept mois, la neige couvre la terre; où elle tombe en abondance, à l'état de poussière fine, de grésil ou de flocons; entre Saint-Pétersbourg et Moscou, n'existe-t-il pas un chemin de fer qui marche régulièrement? Pourquoi n'en serait-il pas de même au Simplon, dont la route militaire, sans recourir à d'autres agents que la force animale, et

[1] Voir l'*Annuaire* de 1863.

sans dépenser annuellement plus de 10,000 francs, n'est pas interceptée, en moyenne, plus de sept jours par année ?

Mais, dira-t-on, il règne, dans les Alpes, de redoutables tourmentes qui entassent des monceaux de neige, tordent les arbres ou les déracinent. Comment conjurer un pareil fléau ? — En traversant, dans des galeries en maçonnerie, les passages les plus exposés aux tourmentes.

Que faire, d'autre part, pour ne pas être écrasé sous les avalanches ? — Étudier leur course, car, pareilles aux torrents, elles ont leurs thalwegs qu'elles suivent fatalement. Pour éloigner le péril, il suffira donc de changer leur cours. Ce bloc cyclopéen qui roule menaçant, une faible estacade, placée sur son passage, le détournera de sa ligne ordinaire. C'est ainsi qu'un lourd convoi, lancé à toute vitesse, change de direction par le jeu d'une aiguille. Que si la disposition des lieux empêche de détourner l'avalanche, on construira une galerie sur laquelle passera le colosse, tandis qu'on circulera paisiblement sous cet abri. — Sur la route actuelle du Simplon, un torrent et des avalanches ne passent-ils pas pardessus la galerie de Kaltenwasser ?

Un autre obstacle à l'établissement d'un chemin de fer dans les Alpes est, dit-on, l'impossibilité d'ouvrir une tranchée sur les versants des cônes d'éboulement[1]. — On a, selon nous, grossi outre mesure la difficulté que ces cônes opposent à l'établissement d'un chemin de fer. — Il est bien vrai que, dans les formations schisteuses, les débris de roches offrent les plans de glissement qui rendent les éboulements fréquents et dangereux ; mais, au Simplon, la plupart des cônes d'éboulement remontent si loin, qu'une végétation séculaire les a consolidés. Il n'y a donc rien à craindre de ce côté.

Les adversaires les plus opiniâtres du projet font encore une objection : Un chemin de fer au Simplon engloutira, d'après eux, des sommes considérables. — M. Flachat répond à cette dernière attaque en publiant un devis.

S'appuyant sur ce qu'a coûté à établir la route militaire du Simplon dont la largeur moyenne est de 8 mètres, M. Flachat es-

[1] Les côtes d'éboulement sont composés de débris de blocs détachés des rochers supérieurs. Ces débris forment des espèces de cônes dont la base repose dans la vallée et dont le sommet s'appuie sur le flanc de la montagne.

time que, pour un chemin de fer large de 10 mètres, avec voie d'aller et de retour, gare de transbordement à Brieg et Isella, etc., la dépense serait de 79 francs par mètre courant pour terrassements et murs de soutènement. Il y aurait de plus, de Brieg à Domo d'Ossola, 27 ponts et aqueducs, 600 mètres environ de percées souterraines, et 3,500 mètres de galeries et abris contre les avalanches. Enfin six refuges seraient répartis sur toute la ligne. — Ces détails sont mis en relief, avec les frais qu'ils nécessitent, dans le devis suivant :

DEVIS D'UN CHEMIN DE FER AU SIMPLON.

FORMATION DE LA PLATE-FORME DE LA VOIE.

51,665 mètres de terrassements, murs de soutènement, etc., à 79 francs le mètre courant.	4,081,535 fr.	
27 ponts et aqueducs.	670,000	
600 mètres de percées souterraines à 800 fr. le mètre..	480,000	
3,500 de galeries à 225 francs	787,500	6,919,035 fr.
Détournement de la voie actuelle en plusieurs points	400,000	
Indemnités pour expropriation de terrains, maisons, etc.	500,000	

VOIE ET ACCESSOIRES.

51,665 mètres de double voie; aiguilles, plaques, télégraphes, clôtures, etc., à 100 francs le mètre.	5,166,500 . . .	5,166,500

STATIONS, REFUGES, MAISONS D'OUVRIERS ET DE GARDES.

2 stations de transbordements à Brieg et à Isella, à 250,000 francs.	500,000	
6 stations intermédiaires, refuges à 80,000 francs.	480,000	1,180,000
40 maisons d'ouvriers, de gardes, à 5,000 fr.	200,000	

MATÉRIEL ROULANT.

15 machines à 110,000 francs.	1,650,000	
120 véhicules, voitures et wagons, à 20,000 francs..	2,400,000	4,770,000
8 machines à charrues pour enlever la neige, à 90,000 francs chacune.	720,000	
	Total.	18,035,535 fr.
Intérêts des fonds pendant l'exécution des travaux et frais d'administration.		1.964,465
	Total. . . .	20,000,000 fr.

Ce chiffre de 20 millions représente à peu près la moitié de ce que coûtera le chemin du mont Cenis.

On le voit, l'échafaudage des objections faites à la traversée des Alpes par un chemin de fer, croule sous les réponses que l'on peut faire à ces objections. Avant peu le touriste qui explorera les Alpes apercevra, sur les cimes des cols, le panache blanc des locomotives.

IV

Le souterrain d'Annibal. — Les Sarrasins au mont Viso. — Un projet sous Louis XI. — Le tunnel du mont Thabor. — Sa direction. — Inclinaisons de la voie. — Étude géologique du sol. — Quand passera-t-on sous les Alpes? — L'entrée du Ténare.

« Certains commentateurs, dit M. Ladoucette dans son *Histoire des Hautes-Alpes* [1], livre plein d'aperçus nouveaux et de savantes recherches, n'hésitent pas à attribuer à Annibal le souterrain qui, de l'est à l'ouest, à 2,400 mètres au-dessus du niveau de la mer, a été pratiqué dans les flancs du mont Visulus. »

L'idée de percer un tunnel dans les Alpes paraît donc remonter à une date fort ancienne; seulement les premiers souterrains rampèrent modestement sous les faîtes, car les ressources de la mécanique étaient alors restreintes, et il eût été difficile, pour ne pas dire impossible, de passer sous la montagne. Le souterrain d'Annibal avait 72 mètres de longueur; sa section était un carré ayant $2^m,50$ de côté.

Bien des siècles plus tard, les Sarrasins, qui, après les Romains, exploitèrent les mines des Hautes-Alpes, mirent, dit-on, en pratique, pour se frayer un passage au mont Viso, les connaissances qu'ils possédaient dans l'art de construire des galeries. Leurs travaux remonteraient au temps où ils gardaient les défilés de ces montagnes. On sait que les Sarrasins possédèrent des forts dans le pays et traitèrent même avec les marquis de Saluces.

Vers la fin du règne de Louis XI, il fut de nouveau question de

[1] *Histoire, topographie, antiquités, usages, dialectes des Hautes-Alpes*, avec un atlas et des notes, par M. J. C. F. Ladoucette. Paris, Gide, 1848.

percer le mont Viso. Il existe, dans les archives des Bouches-du-Rhône, un acte qui en fait foi. Cet acte, fort peu connu, nous semble assez important et assez curieux pour être mis sous les yeux du lecteur. C'est un monument précieux pour l'histoire de l'industrie humaine[1].

« Capitula facta inter Regiam Majestatem et illustrem dominum Marchionem Saluciarum, seu ejus ambaxiatores.....

Tenor dictorum capitulorum :

« Pour ce que a aller du Daulphiné et Prouvence es païs de Pimont, Saluce et Lombardie, est nécessité de passer par les destroits du mont Saint-Bernard, mont Senis, mont Geneve et aultres, qui a grant difficulté et dangier se passent, et avec ce, y a bien long chemin, a laquelle cause les marchans des dicts païs ne peuvent traffiquer les ungs avec les aultres que a tres grans frais et despens, Mgr le marquis de Saluce, por le bien de son païs et des circumvoysins dicelluy, voulant et désirant eschiver les dicts dangiers, passaiges et destroiz et trouver plus court chemin por aller, passer et repasser desdicts païs du Daulphiné et Prouvence es dicts pays de Saluce et aultres prouchains oultre les monts, *a mis en praticque de trouver manière de faire perser la montagne de Mont-Vesoul*[2] qui divise et départ les dicts païs du Daulphiné et du Marquisat, et por ce faire, a envoyé gens sur les lieux, en ce expers et cognoissans et leur relation oye que ladicte montaigne se porroit perser, en manière que mulets chargés porroient passer dung païs à aultre sans aucun dangier de nèges et plus court chemin de moult ; — por faire la despense de perser ladicte montaigne, ont eu ensemble conferance le Roy-Dauphin et le dict Marquis, en manière qu'ils *sperent la chouse venir à bon effect*, ainsi que ledict Marquis a presentement faict sçavoir au Roy de Sicile, conte de Prouvence, par Martin de Albano, petit Jehan de Bisque, escuier et maistre de ses finances, et Balthazar de Piasco, ses conseillers

[1] Nous sommes heureux de remercier ici MM. Ernest Morin, professeur d'histoire à l'École Turgot et au collége Chaptal, et Michon, employé au ministère de l'intérieur, qui nous ont facilité les moyens d'obtenir communication de cette pièce.

[2] Il s'agit évidemmont ici du mont Visulus, dont nous parlions tout à l'heure. — Cette montagne, comme on le sait, doit son nom à la vue dont on y jouit.

et ambaxadeurs envoyez a ceste cause devers luy ; auquel Roy de Sicile ils ont, de par le dict Marquis apporté lectre de creance, par laquelle ils luy ont amplement dict et déclaré ce qui est, et le grand bien et proufit qui len redundera au dict païs de Prouvence, tant por les marchandises qui se prandront audict païs que aultres etrangieres amenées en icelluy a loccasion des pors de mer qui y sont. — Sur quoy et por le bien des dicts païs, ont les dicts ambaxadeurs faict au dict Roy de Sicile, de por mondict seigneur le Marquis, les requestes et ouffices qui sensuyvent ; ausquelles a esté faict response particulierement a chacun, au pié dicelles et premierement : Le dict Mgr le Marquis requiert a la majesté du Roy que soit de son bon pleisir, comme samblera a sa majesté, ordonner la reparation des chemins, pors et ponts du païs de Prouvence estre faicts en telle fasson, quant temps et lieu sera, que les charriots, mulets et aultres voituriers puissent aller et venir des ports de mer dudict païs, jusques aux conffins du païs de Daulphiné, et semblablement maintenir en reparation les dicts chemins por le temps advenir, aux despans desdicts païs de Prouvence, considerez les grans et inestimables prouffiz que en reportera le dict païs.

« Le Roy a respondu que en lieu et temps, il le fera voulentiers.

« Item requierent[1]. . . . .

Ce n'est plus au mont Viso que l'on cherche aujourd'hui à percer les Alpes, c'est au mont Cenis[2], ou, pour parler plus exactement, au mont Thabor.

Le chemin de fer Victor-Emmanuel s'arrête actuellement, du côté de la France, à la petite ville de Saint-Michel, à 15 kilomètres de Commercy, et, du côté de l'Italie, à Suse, village situé à la réunion des deux grandes routes du mont Cenis et du mont Genèvre.

Dans le tracé adopté, le chemin de fer, en quittant Saint-Michel,

[1] Ici commencent les offres et acceptations des nouvelles conditions de transit commercial entre les deux pays (*Arch. des B. du Rh., C. des C. Reg. aquila.* — B. 18, p. 113, v°.)

[2] On dit que, dans des temps reculés, les sommets de cette montagne étaient couverts de pins séculaires qu'un incendie réduisit en cendres. De là le nom de mont Cenis, *mons Cinereus.*

s'élève, dans la vallée de l'Arc, par des rampes qui ne dépassent pas $0^m,035$ jusqu'à la commune des Fourneaux, près de Modane. Là, il entre en souterrain à la cote de $1202^m,62$, passe à 1600 mètres au-dessous du faîte et vient déboucher sur le versant italien, près de Bardonnèche, à la cote de $1335^m,38$, après un parcours de 12,200 mètres. Le chemin descend ensuite dans la vallée de la Doire, jusqu'à la station qui précède Suse. L'inclinaison, de ce côté, ne dépasse pas $0^m,025$ [1].

L'inspection des cotes d'entrée et de sortie montre que la voie, sous son plafond de 1,600 mètres, ne sera pas horizontale : Bardonnèche est, en effet, à $132^m,76$ au-dessus de Modane. L'inclinaison du chemin devra donc être combinée de manière à racheter la différence de niveau. Du reste, loin d'être désavantageuse, cette différence sera précieuse pour l'aération du tunnel, après l'achèvement des travaux. En effet, les températures étant différentes aux deux extrémités du souterrain, le tunnel jouera le rôle d'une cheminée dans laquelle passe constamment un courant d'air. Grâce à ce tirage naturel, l'aération sera plus que suffisante.

L'inclinaison ne sera pas continue de Modane à Bardonnèche; la voie montera d'abord, sur une longueur de 6,200 mètres, à partir de Modane; puis elle descendra vers l'Italie. La rampe, dans le tunnel, sera à $0^m,023$ du côté de la France; du côté de Bardonnèche, elle ne dépassera pas $0^m,0005$. Le raccordement se fera, comme on le voit, à 6,000 mètres de ce dernier village.

Modane et Bardonnèche n'ont pas la même latitude géographique; le premier de ces points est plus au nord que le second. La direction du tunnel n'est donc pas celle d'un parallèle; elle forme, avec le méridien, un angle inférieur à 90°. Précisons davantage. Si l'on trace, à la commune des Fourneaux, les méridiennes géographique et magnétique, la ligne suivant laquelle le tunnel sera percé fait, avec la méridienne géographique, un angle de 22°, et, par suite, un angle de 3° avec la méridienne magnétique, puisque la déclinaison de l'aiguille aimantée est de 19° environ. C'est ce qu'expriment les ingénieurs en disant que le tunnel court du N. 22° O. au S. 22° E.; ils empruntent, en parlant ainsi, le

[1] M. Lehaitre a proposé un projet qui réduit la longueur du tunnel à 5,500 mètres. On devrait, selon cet ingénieur, s'élever à 1,700 mètres avant d'entrer en souterrain

langage des marins. — De Bardonnèche à Suse le chemin de fer longera la route ordinaire, puis se raccordera avec la voie de Turin. Les Alpes piémontaises sont splendides de ce côté; au sortir du souterrain, le voyageur sera ébloui par le plus magnifique spectacle.

On a attaqué le tunnel par ses deux extrémités : jour et nuit, trois cents ouvriers sont à l'œuvre, cent cinquante à Modane, cent cinquante à Bardonnèche; de plus, une centaine de tailleurs de pierre, maçons, charpentiers, etc., travaillent dans les chantiers. Les ouvriers sont divisés en trois brigades qui se relèvent toutes les huit heures. L'avancement moyen, à Bardonnèche, est de $1^{m},30$ à $1^{m},40$ par jour; à Modane, où, jusque dans ces derniers temps, on a opéré par les procédés ordinaires, il n'est que de $0^{m},60$ à $0^{m},70$, environ la moitié.

« On peut se demander si, en commençant ainsi les travaux par les deux points extrêmes du tracé, il n'y a pas à craindre que les deux tronçons du tunnel ne se rejoignent point. La probabilité de la rencontre dépend du degré de précision que l'on apporte dans les opérations.

« L'entrée à Bardonnèche étant déterminée, il s'agissait d'établir une série de points, tous renfermés dans le plan vertical contenant l'axe du tunnel. On a choisi le point le plus élevé de la montagne à percer, dans la direction adoptée. Soit A ce point. A l'aide d'une lunette méridienne donnant au plus une déviation de $10''$, on a visé deux points, μ et β, sur les montagnes faisant face à Modane et à Bardonnèche. On s'est ensuite transporté en ces points, et l'on a pu placer de nouveaux repères m et b, m' et b', en regard de μ et β, en se servant toujours de la lunette méridienne et visant d'abord A. On a ainsi arrêté définitivement les deux têtes M et B de la galerie, et on les a rattachées plusieurs fois par des nivellements et des triangulations. La différence des cotes étant connue, au moins approximativement, on a pu déterminer les pentes $0^{m},023$ et $0^{m},0005$, et installer, dans la direction du tunnel, deux observatoires pour la vérification de la direction. Cette vérification se fait tous les quinze jours, en suspendant des bougies au milieu de la galerie et en les regardant avec la lunette. Si l'on admet une erreur de $10''$ dans la direction, on arrive, en fin de compte, sur un rayon de 6,000 mètres, à une er-

reur inférieure à 1 mètre. La direction étant assurée, on doit nécessairement se rencontrer, puisque l'on chemine dans un plan vertical, en s'élevant de chaque côté[1]. »

Si l'on veut se rendre compte de toutes les difficultés que présente le percement du mont Thabor, il est essentiel de jeter à présent un coup d'œil sur la constitution géologique du sol dans ces régions.

D'une manière générale, on peut dire que le tunnel des Alpes est creusé dans les terrains de transition, lesquels comprennent, comme on le sait, les dépôts cumbriens, siluriens et devoniens.— A l'entrée savoisienne, on rencontre d'abord des psammites, roches à base composée de quartz ou acide silicique et d'argile, et des poudingues (*pudding stone*), assemblages de cailloux agglutinés entre eux par un ciment naturel, tantôt siliceux, tantôt calcaire. Au milieu de ces roches entremêlées de schistes gris, se trouvent des couches d'anthracite contenant un minerai lamelleux, d'un gris métallique fort brillant, la galène ou sulfure de plomb. Les quartzites, grès consolidés qu'on trouve dans le voisinage des terrains de cristallisation, commencent à se montrer. Ces roches, d'un blanc verdâtre, sont massives ou schistoïdes et entremêlées de poudingues. Sur le haut de la montagne, du côté de Modane, les quartzites se dressent en roches escarpées ; leurs débris sont nombreux sur tout le revers savoisien. D'après M. Lachat, ingénieur des mines pour le département de la Savoie et de la Haute-Savoie, les quartzites ont environ 450 mètres d'épaisseur normalement aux couches. Dans cette roche, on peut se passer de revêtement. Aux quartzites succèdent, vers la région moyenne, des calcaires massifs de chaux et de magnésie. D'un gris bleuâtre et d'une texture compacte, ils passent souvent à la dolomie, roche d'un aspect cristallin et d'une texture lamellaire ou grenue.

Du côté de Bardonnèche, le tunnel traverse des schistes gris, toujours foncés, bleuâtres ou verdâtres, souvent veinés de quartz blanc. Dans la roche se trouvent de fréquentes incrustations de calcaires, avec des filons de fer spathique ou fer carbonaté, couleur gris de poussière, et d'un minéral rouge brun, composé de sesquioxyde de fer presque pur, le fer oligiste[2].

[1] *Journal de mission* de M. Aubé, ancien élève de l'École polytechnique.
[2] Cette substance est ainsi nommée parce qu'il y a très-peu à faire pour en

En résumé, pour joindre, par un tunnel, Modane et Bardonnèche, il faut traverser quatre roches de nature différente, savoir : des psammites et des poudingues entremêlés de couches d'anthracite; des quartzites, des calcaires compactes et des calschistes. La direction du terrain à anthracite est N. 55° E. S. 55° O., avec pente de 22° au S. E.; celle du terrain à quartzites est N. 23° E. S. 23° O., avec pente de 50° à l'O.; celle des calcaires massifs est N. S., avec pente de 45° à l'O., près du col de la Roue, puis, par suite d'un cataclysme, N. 9° O. S. 9° E., avec pente de 46° à l'E., près du col d'Arionda; enfin la direction des calcaires schisteux est de N. 5° O. S. 5° E., avec pente de 26° à l'O. Les mineurs auront perforé, quand le tunnel sera achevé, 1,500 mètres environ de terrain à anthracite, quartzites, etc.; 2,700 de calcaires compactes et 8,000 de calschites.

Du côté de la France, la roche est d'une très-grande dureté; du côté de l'Italie, elle n'offre qu'une faible résistance. C'est pour cette raison, et aussi parce que les machines perforatrices ont tardé longtemps à fonctionner au village des Fourneaux, que les travaux y sont moins avancés qu'à Bardonnèche. Au mois de septembre dernier, lorsque nous avons exploré les principaux cols des Alpes, et visité, dans tous leurs détails, les travaux de Modane et de Bardonnèche, la galerie savoisienne avait environ 1,200 mètres de longueur et la galerie italienne 1,800. En évaluant à 200 mètres la longueur du percement effectué depuis cette époque, on voit qu'il reste encore, au 1er janvier 1864, à peu près 9,000 mètres à perforer. Les ingénieurs estiment qu'en perfectionnant les engins mécaniques auxquels on a recours, l'avancement atteindra bientôt 3 mètres par jour, au minimum. Il faudra donc, pour terminer le tunnel,

$$\frac{9,000}{3} = 3,000 \text{ jours}, = 8 \text{ ans environ.}$$

N'y a-t-il pas à craindre que des éboulements ou une invasion des eaux n'arrête subitement la marche des travaux? Nous ne le

tirer le métal pur (ὀλίγιστον, très-peu). — M. Lachat, à qui l'on doit une coupe de la montagne, a eu recours, pour étudier la disposition des roches que nous venons de passer en revue, à la méthode d'investigation la plus sûre, la méthode stratigraphique, qui n'admet aucune hypothèse.

croyons pas. Il est bien vrai que deux éboulements ont eu lieu à Bardonnèche, le premier dès le début, et le second dans le courant de l'année dernière ; mais, aujourd'hui, toutes les précautions sont prises pour prévenir le retour de pareils accidents. Les ingénieurs ne vont en avant qu'avec une prudence extrême. Quant à la rencontre d'une nappe d'eau, elle est peu probable, car le lac le plus voisin, celui du mont Cenis, est à 27 kilomètres du souterrain. Selon toute apparence, tout se réduira à quelques infiltrations. D'ailleurs les dimensions du tunnel sont telles qu'elles parent à tout événement. A Modane, la section du souterrain est en plein cintre, dont la naissance se trouve à 2 mètres au-dessus des rails, et dont le rayon est de 4 mètres. La distance entre les deux pieds-droits, au niveau de la voie, est de 7m,70. La section, à Bardonnèche, a les mêmes cotes ; seulement, comme la roche dans laquelle on pénètre est feuilletée et, par suite, moins résistante, la voûte est surélevée de 30 centimètres. On construit de plus, dans l'axe du tunnel, un égout de 1m,20 de hauteur sur 1 mètre de largeur. Cet égout est destiné à l'écoulement des eaux, à l'installation des tuyaux d'aérage, et, en cas d'accident, à l'organisation d'un moyen de sauvetage.

D'après une convention internationale en date du 9 juin 1862, la France paye à forfait, au gouvernement italien, une somme de 19 millions pour 6,110 mètres courants, ce qui fait 3,109 francs par mètre de souterrain. La durée des travaux est fixée à vingt-cinq ans, à partir du 1er janvier 1862. Si le tunnel est percé dans quinze ans, la France s'engage à payer à l'Italie une prime de 500,000 francs par année d'abréviation ; au-dessous de quinze ans, la prime sera de 600,000. Si, comme nous le croyons, et nous basons notre opinion sur les notes que nous avons prises sur place, le souterrain est prêt dans dix ans, notre dette sera de :

	19,000,000	pour notre quote-part.	
	5,000,000	pour 10 ans de prime	à 500,000 fr.
	3,000,000	pour 5 ans —	à 600,000 fr.
Total. .	27,000,000	de francs.	

L'enlèvement des déblais est une des plus grandes difficultés que l'on ait rencontrées jusqu'ici. Dans les cas ordinaires, les puits servent non-seulement à multiplier le nombre des atta-

ques et à aérer le souterrain, mais encore à sortir les déblais. Ici cette ressource fait défaut. Cependant, grâce aux nouvelles combinaisons des ingénieurs qui dirigent les travaux, malgré des obstacles de toutes sortes, on arrive maintenant à un enlèvement assez rapide. Les tombereaux courent sur les deux voies qu'on a installées dans le tunnel, à travers les échafaudages, les pierres et les matériaux en approvisionnement. « Nous ne saurions, dit M. Baude, inspecteur général des ponts et chaussées, voir de difficulté sérieuse dans l'enlèvement journalier de 200 à 250 mètres cubes de déblais en vingt-quatre heures. Avec deux voies posées sur toute la longueur de la galerie, avec un front de terrassement qu'on peut étendre autant qu'on le veut, entre la maçonnerie qui se termine et la petite galerie qui se prolonge, il y a toujours moyen de se débarrasser du déblai en rocher et il n'y a d'obstacle à la rapidité du travail que le creusement de la petite galerie. »

Au commencement de cette laborieuse entreprise du percement des Alpes, le tunnel n'était éclairé que par les lampes fumeuses des mineurs; l'ouverture du souterrain rappelait l'entrée du Ténare. Le tunnel est aujourd'hui éclairé, comme une de nos rues, par des becs de gaz. Ce n'est qu'au fond de la galerie que les ouvriers se servent de lampes. Près de l'habitation des ingénieurs, qui servira plus tard de station, lorsque le chemin sera définitivement ouvert, on a construit une usine à gaz qui pourvoit aux besoins du tunnel et des ateliers.

Nous voyons, par les détails que nous venons de donner, que les travaux du mont Thabor sont en bonne voie. L'ardeur des ouvries, l'active surveillance des inspecteurs, la science et l'habileté des ingénieurs, la sagesse de l'administration, tout promet, pour l'avenir, une heureuse solution. D'après nos calculs, on passera sous la montagne vers 1873. Il est même possible qu'un perfectionnement imprévu avance de quelques années l'achèvement des travaux.

Après avoir visité l'emplacement choisi pour percer les Alpes de part en part, mesuré les inclinaisons diverses qu'aura la voie du côté de la France et du côté de l'Italie, indiqué la direction du souterrain et les moyens qu'on a de la vérifier ; après avoir étudié la constitution géologique du sol dans ces contrées, évalué la durée et le prix approximatif des travaux et répondu à quelques

objections, il nous reste à examiner les moyens mis en œuvre pour le percement des Alpes.

V

Le feu et le vinaigre de Pline. — Emploi de la poudre pour faire sauter les rochers. Appareil à entailler le roc de M. Maus. — Premières machines perforatrices. — Le bélier hydraulique des frères Montgolfier. — Les béliers à air. — L'Arc et le Mélezet. — Nouveau compresseur de M. Sommeiller. — Les conduites d'air. — Les percusseurs. — Les affûst. — Le front de taille et les trous-de-mine. — Aération du tunnel. — Conclusion.

On se servait autrefois de l'action du feu pour désagréger les rochers. Dans ce but, on dressait des bûchers à l'intérieur des excavations, puis on jetait de l'eau sur les parties brûlantes. Le refroidissement qui s'ensuivait déterminait des fentes, et facilitait l'abatage des blocs. C'est probablement ainsi que procéda Annibal, qui, d'après le récit de Pline, brisa la roche par l'action combinée du feu et du vinaigre [1].

Les moyens employés pour le percement des Alpes sont plus perfectionnés. — Tout d'abord, on appliqua, au village des Fourneaux, les procédés au moyen desquels on creuse, de nos jours, les galeries et les souterrains : on eut recours à la force explosive de la poudre [2]. Armés de *fleurets*, tiges de fer rondes terminées en biseau, les mineurs pratiquèrent dans le roc des trous destinés à recevoir les cartouches. A mesure que la roche, réduite en éclats, tendait à s'accumuler dans ces trous, on retirait, avec des cuillers

[1] « Acetum saxa rumpit infusum, quæ non ruperit ignis antecedens. » (Pline III, chap. 16). — Tite Live dit, sur ce même sujet : « Ardentiaque saxa infuso aceto putrefaciunt. » — On se sert encore du feu dans quelques mines. Au Rammelsberg (Hartz) et à Altenberg (Saxe), on attaque les massifs par la flamme et l'on active la désagrégation des roches par des jets d'eau froide. Les chimistes *étonnent* aussi les minéraux très-durs qu'ils veulent pulvériser.

[2] C'est en 1632 qu'on fit, pour la première fois, usage de la poudre dans les mines. Cette substance agit par le choc, résultant de la formation subite des gaz produits par son inflammation, et par détente de ces gaz. La première action est l'effet initial, celui qui fracture les roches, et qu'on cherche à produire dans les mines ; la seconde projette au loin les débris fracturés : on cherche à l'éviter, et, pour cela, la poudre de mine doit être la moins vive de toutes. Elle est composée de 65 parties de nitre, 15 de charbon et 20 de soufre ; tandis que la poudre de guerre contient 75 parties de nitre, 12,50 de charbon et 12,50 de soufre. » *Traité du gisement et de l'exploitation des minéraux utiles*, par M. Amédée Burat. Paris, Langlois, 1859.

spéciales ou *curettes*, ces débris gênants. Puis les marteaux retentissaient de nouveau sur les outils d'acier, et les fleurets se remettaient à grincer. Quand les trous avaient environ 40 centimètres de profondeur, une opération nouvelle commençait : l'introduction des cartouches, à l'aide de petites broches nommées *épinglettes*. Les trous étaient alors fortement bourrés avec de l'argile sèche ou de petits fragments de pierre tendre. On retirait ensuite les broches; on mettait de la poudre à leur place, au moyen de tuyaux de plume ou de paille; on collait sur ces tuyaux des mèches soufrées d'une longueur convenable, et enfin on allumait ces mèches. — Bientôt une série d'explosions se faisaient entendre; la roche avait sauté... Les ouvriers, revenus au fond de la galerie, reprenaient leurs travaux, attaquaient les parties ébranlées et enlevaient les déblais.

Quoique bien supérieure aux anciens procédés, cette méthode présente toutefois une grande imperfection : rapide, quand on la compare aux modes usités jadis, elle est encore lente, eu égard aux nécessités de la vie moderne. Pour percer les Alpes de la sorte, il aurait fallu plus de quarante ans. — On aime à voir l'inauguration de l'édifice dont on a posé la première pierre; de là l'opiniâtreté avec laquelle les ingénieurs se sont obstinés à faire usage des agents mécaniques.

Le premier appareil fut imaginé par M. Maus, l'auteur du tracé adopté. — Sept rangs de ciseaux, cinq horizontaux et deux verticaux, devaient attaquer le front de taille, creuser des rainures, isoler le massif et le décomposer en parallélipipèdes adhérant seulement à l'arrière. L'abatage se serait fait à l'aide de coins. — Dans ce système, les ciseaux recevaient l'impulsion d'un même moteur; mais, dans leur mouvement, ils restaient indépendants les uns des autres. Chaque fleuret empruntait son impulsion à un ressort à boudin qui, en se détendant, lançait l'outil et entaillait le roc. On évitait ainsi les accidents qu'aurait pu occasionner la solidarité des taillants.

« Mais il y avait à résoudre encore bien des difficultés : il est probable qu'on eût été fréquemment arrêté par des déviations des ciseaux, par la difficulté de leur dégagement, surtout pour les quatre rangées chargées d'opérer le *havage* qui devait isoler le massif. Quant au mode de transmission du travail au moyen de câbles et de poulies, il était justement suspect. M. Maus invoquait,

comme très-rassurant, l'exemple des plans inclinés de Liége; mais l'incontestable mérite des dispositions adoptées, dans cette circonstance, par l'habile ingénieur, ne pouvait racheter les vices du principe. Les inconvénients croissent évidemment avec la longueur de la transmission; celle-ci eût été, vers la fin du travail, trois fois plus considérable aux Fourneaux et à Bardonnèche qu'à Ans. Il était difficile d'admettre qu'un pareil attirail fût encore tolérable sur une aussi grande échelle. Le point capital, la ventilation, n'avait d'ailleurs été étudié que d'une manière très-sommaire. — Les ingénieurs repoussèrent donc le projet de M. Maus, non comme absolument impraticable, mais comme étant d'une application difficile et trop aventureuse[1]. »

On revint alors au procédé classique d'abatage des roches par le tirage à la poudre; seulement, comme la durée du travail dépend surtout du temps qu'exige le forage des trous de mine, on résolut de substituer au forage à main d'homme un procédé plus expéditif, le forage mécanique. Un moyen simple et pratique d'agir immédiatement sur les roches fut proposé par un ingénieur attaché à l'entreprise des travaux du Victor-Emmanuel, par M. Bartlett.

Dans ses appareils, l'inventeur s'efforçait de reproduire les mouvements du mineur. Chaque outil avait sa machine motrice, et le fleuret, maintenu par des guides, tournait à chaque coup de quelques degrés. Cinq modèles de ce genre furent essayés, à Chambéry. On frappa jusqu'à 300 coups par minute, sans que les perforateurs souffrissent d'une telle rapidité. Aussi le principe de ces instruments servit-il de base aux appareils construits pour le percement du tunnel des Alpes.

Le système de M. Bartlett avait un inconvénient : les premiers modèles devaient être mus par la vapeur. Or, il n'était guère possible d'admettre, dans le tunnel, la présence d'une chaudière et d'un foyer. Il aurait fallu, en effet, qu'on eût sous la main des provisions d'eau et de charbon et qu'on procédât à de fréquents déménagements. Les causes d'encombrement, dans un souterrain, sont déjà si nombreuses, qu'on doit éviter avec soin tout ce qui peut contribuer à en grossir le nombre. D'ailleurs, les ouvriers

[1] Rapport à M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur l'Exploitation de la section de Ponte-Decimo à Busalla (chemin de fer de Turin à Gênes), par M. Couche, ingénieur en chef des mines.

n'auraient pas pu travailler longtemps dans une atmosphère viciée par la vapeur et par la fumée. Pour ces différents motifs, on renonça à l'emploi d'un agent exigeant et incommode dans l'espèce, et l'on décida que les machines perforatrices seraient mues par l'air comprimé.

Vers cette époque, une compagnie s'était organisée pour doter la ville de Gênes d'une distribution d'eau. Ce problème avait autrefois paru fort difficile à résoudre, car on n'avait, pour toutes ressources, que les petits cours d'eau qui s'échappent du flanc méridional de l'Apennin. La question de l'approvisionnement de Gènes se simplifia singulièrement, lorsque fut percé le souterrain de Giovi, qui débouche sur le versant nord, dans la vallée de la Scrivia ; ce souterrain livrait passage aux eaux d'une rivière abondante qui arrose les provinces de Novi, Tortone, Alexandrie, Voghera, et se jette dans le Pô, après un parcours de 80 kil.

« C'est à ce torrent qu'une dérivation fut pratiquée, au moyen de tuyaux en fonte de $0^{m},60$ de diamètre, qui puisent en amont d'un barrage et profitent du souterrain pour franchir la ligne de faîte. Le volume d'eau concédé à la ville, et dont une partie seulement est dérivée jusqu'à ce jour, s'élève, en tout temps, à 350 litres par seconde. On a ainsi à sa disposition, entre Busalla et Ponte-Decimo, un travail moteur de plus de 1,200 chevaux. — Rien n'était plus séduisant, à coup sûr, que l'idée de tirer parti de cette énorme source de travail. L'État se réserva, avec une sage prévoyance, le droit d'utiliser la chute des eaux destinées à l'approvisionnement de la ville[1] »

Les ingénieurs du col de Fréjus songèrent de même à profiter, pour le percement des Alpes, de la force qu'ils avaient autrefois cherché à appliquer à la remorque des trains, sur le chemin de fer de Turin à Gênes. Ils convinrent que le travail des chutes d'eau serait emmagasiné et transmis à l'aide de l'air comprimé. Des expériences préparatoires eurent lieu à Saint-Pierre d'Arena. Elles prouvèrent qu'en accumulant le travail d'une chute d'eau, et en employant des machines perforatrices, on obtient, ce qu'il était facile de prévoir, un avancement beaucoup plus rapide qu'avec le forage à la main[2].

[1] Rapport de M. Couche.

[2] Les résultats de ces essais sont consignés dans un rapport rédigé par M. Giulio, au nom de la commission du gouvernement. « Rapporto della

Le principe des instruments qui furent soumis aux épreuves de Saint-Pierre d'Arena est emprunté à un appareil qui n'avait encore reçu aucune application importante, au bélier hydraulique imaginé, en 1797, par les frères Montgolfier. Disons donc, en passant, quelques mots de cette ingénieuse machine.

Le bélier hydraulique sert, comme on le sait, à élever une partie de l'eau fournie par une chute, à une hauteur supérieure au niveau de l'eau dans le bief d'amont, sans mettre en jeu d'autre force que la puissance même de la chute. — Pour donner une idée de cette machine, imaginons que l'eau d'une chute soit conduite par un tuyau dans le bief d'aval. Si ce tuyau est ouvert à sa partie inférieure, l'eau s'échappera par l'orifice avec une vitesse qui dépendra de divers éléments, tels que la hauteur de la charge, les frottements qui se produisent à l'intérieur, etc., etc. Que l'on vienne maintenant à fermer tout à coup le tuyau, la sortie de l'eau sera brusquement interrompue, et une pression énorme s'exercera sur les parois du tube. Cela posé, concevons que le tuyau d'écoulement soit muni, à quelque distance de son orifice, d'un tuyau d'ascension fermé, à sa partie inférieure, par une soupape s'ouvrant de bas en haut. L'arrêt brutal de l'eau produira une réaction qui soulèvera la soupape de ce tube et refoulera, de ce côté, une certaine quantité de liquide. En répétant plusieurs fois l'expérience, on obtiendra, dans la branche d'ascension, une colonne d'eau de plus en plus élevée. Bientôt même, et c'est en ceci que consiste l'anomalie, l'eau atteindra un niveau supérieur à celui qu'elle a dans le bief d'amont[1].

Les compresseurs qui fonctionnent au pied des Alpes agissent d'une manière analogue. — Pour en comprendre le jeu, supposons que l'une des branches verticales d'un tube en U, la branche droite, par exemple, soit munie d'un piston, et qu'entre ce piston et une soupape, s'ouvrant de bas en haut, située vers la partie supérieure de la même branche, soit emprisonné un certain volume d'air. Si, dans la branche gauche du tube, on livre passage à une colonne d'eau, le piston de la branche droite sera repoussé, et, par suite, l'air placé au-dessus, comprimé. Chaque fois que l'eau

commissione governativa istituita per l'esame delle machine inventate dagli ingegneri Grandis, Grattoni e Sommeiller. »

[1] Il existe, au château de la Celle-Saint-Cloud, un bélier hydraulique établi par Montgolfier lui-même.

donnera cette sorte de coup de bélier, le piston s'élèvera. A un moment donné, le ressort de l'air emprisonné ouvrira la soupape supérieure, ce qui permettra à une partie de la masse gazeuse de passer dans un réservoir placé dans le voisinage. La soupape qui, en s'ouvrant, laisse tomber la colonne liquide, est désigné sous le nom de soupape d'*introduction de l'eau;* celle qui sépare la deuxième branche, du réservoir à air comprimé, est la soupape d'*admission de l'air;* enfin la *chambre de compression* est située entre cette soupape et le piston.

Si l'appareil se composait seulement des parties auxquelles nous l'avons réduit jusqu'ici : deux tubes verticaux, un tube horizontal, un piston et deux soupapes, l'air de la chambre de compression serait bien vite épuisé et le tube en U bientôt rempli d'eau. Il est donc essentiel d'aviser au renouvellement de la provision d'air et à l'évacuation d'une portion du liquide introduit. Voici comment on arrive à ce double résultat.

A peine l'effet du coup de bélier est-il produit, que la soupape d'introduction de l'eau se ferme. Par suite de cette fermeture, une autre soupape s'ouvre et donne issue à une partie de l'eau contenue dans la branche horizontale du tube. Le piston compresseur redescend ; la capacité de la chambre à air augmente ; un vide se produit et l'air extérieur pénètre, en poussant devant lui une soupape latérale s'ouvrant de dehors en dedans. Tous les organes reprennent alors leur place primitive et sont prêts à recommencer leur action. — Quant au jeu des soupapes, il s'obtient au moyen d'une petite machine, communiquant le mouvement à un arbre qui porte des excentriques convenablement disposés.

Les appareils employés pour comprimer l'air, à Modane et à Bardonnèche, sont, comme on le voit, calqués sur le bélier hydraulique; seulement, « la force vive de l'eau, au lieu d'être employée à élever une partie de sa propre masse à une hauteur en quelque sorte indépendante de son niveau hydrostatique, produit, par des impulsions successives, la compression d'une certaine masse d'air. Il est à peine nécessaire de faire remarquer combien ces conditions du travail de l'eau sont préférables à celles qui caractérisent le bélier hydraulique proprement dit. Au lieu d'agir par une série de chocs contre une masse d'eau à élever, qui résiste par son inertie, la colonne motrice bande, par ses impulsions successives, un ressort parfait dans toute l'acception du mot. Dès

lors, plus de ces pertes de force vive qui se disséminent en vibrations dans toute la masse de l'appareil, nuisent plus encore à sa conservation qu'à son effet utile[1], et ont empêché le bélier d'entrer dans la pratique, sous la forme que lui a donnée son inventeur[2]. »

Les *compresseurs à choc*, comme les appelle M. Sommeiller, marchent très-régulièrement avec des eaux, ne tenant en suspension que des boues ou des sables fins. A l'époque des crues, il y a quelques précautions à prendre, car les eaux entraînent avec elles des détritus de plantes, des mousses, des racines, etc., qui peuvent provoquer des interruptions dans la marche des appareils.

A Bardonnèche et à Modane, 10 béliers analogues à celui que nous venons d'esquisser, compriment l'air dans 10 chaudières en tôle de $0^{m},01$ d'épaisseur. Chacun de ces réservoirs a une capacité de 17^{m3}, et contient de l'air maintenu à une pression constante de six atmosphères. Un double mattage rend les chaudières parfaitement étanches.

Quels cours d'eau a-t-on mis à contribution pour comprimer l'air aux deux têtes du tunnel? — Le Mélezet, à Bardonnèche, et la rivière torrentielle de l'Arc, aux Fourneaux. — Le Mélezet a été détourné par un aqueduc de 2 kil. Le débit minimum de ce torrent est de 700 litres. Comme la chute est ici de 50 mètres, on est assuré d'avoir, aux plus basses eaux, un travail de

$$700 \times 50 = 35000 \text{ kilogrammètres},$$

$$\text{ou } \frac{35000}{75} = 466 \text{ chev.-vap.}$$

Ce nombre correspond à un minimum. Presque toujours on dépassera ce chiffre, et l'on aura un travail de 650 chevaux en moyenne. — Les autres cours d'eau qu'on trouve aux environs de Bardonnèche n'ont pas un débit de plus de 396 litres par seconde, et, ce qui est un inconvénient grave, dont le Mélezet est exempt, ils sont généralement congelés pendant les mois de décembre et de janvier.

[1] Le choc violent des soupapes, et les fortes secousses que donne la machine, ébranlent ses supports..... Dans les grands béliers, les fortes maçonneries et charpentes employées à les contenir, sont elles-mêmes ébranlées et dégradées bout de quelque temps. » (*Traité d'hydraulique* par M. d'Aubuisson.)

[2] Rapport de M. Couche.

A Modane, la rivière de l'Arc offre, sous le rapport du débit, des ressources surabondantes; mais, en revanche, la chute, de ce côté, est insuffisante. De là la création d'une chute artificielle. Six roues à augets, de 6 mètres de diamètre et de 4 mètres de largeur, mues par une dérivation de l'Arc, élèvent l'eau de cette rivière dans une bâche placée à 25 mètres de hauteur. L'eau tombe de cette bâche dans les béliers.

Toutefois cette solution n'a pas paru complétement satisfaisante à M. Sommeiller ; il y a, en effet, une certaine anomalie à élever l'eau pour la laisser retomber, lorsqu'on peut employer directement la force dépensée. Aussi, en ce moment, deux systèmes fonctionnent-ils concurremment dans la galerie des Fourneaux : les anciens béliers, mus par la chute artificielle, et un système de pompes, comprimant l'air à 6 atmosphères, sans lui communiquer l'odeur empyreumatique que donne, d'ordinaire, le graissage des pièces.

Quatre pompes à air sont mues par 2 des 6 roues qui servaient à élever l'eau dans la bâche ; les 4 autres roues mettent en mouvement 8 pompes élévatoires à double effet.

« Chaque roue, par l'intermédiaire d'une manivelle et d'une bielle, imprime un mouvement de va-et-vient à la tige d'un piston qui se meut dans un cylindre horizontal surmonté de 2 cylindres verticaux. Ces cylindres sont remplis d'eau jusqu'à une certaine hauteur.

« Chacun des cylindres verticaux est terminé par deux soupapes, S, S′, dont l'une s'ouvre de l'extérieur à l'intérieur, pour permettre, dans le cylindre, des rentrées d'air atmosphérique ; l'autre de l'intérieur à l'extérieur, vers le récipient d'air comprimé.

« Lorsque, par exemple, le piston est poussé vers la gauche, l'air contenu dans le cylindre vertical gauche est refoulé par l'eau; la soupape S′ s'ouvre pour lui donner passage et se referme, par la pression de l'air refoulé dans le récipient, aussitôt que le piston se retire. Le vide se produit au-dessus de la colonne liquide qui s'abaisse et l'air atmosphérique s'introduit par la soupape S. Le second cylindre rend la machine à double effet.

« Avec l'air refoulé vers l'orifice O, qui conduit aux récipients, il s'introduit toujours une certaine quantité d'eau, parce que l'eau, en remontant dans les tubes verticaux, touche la soupape S′, afin

de ne pas laisser se former un espace nuisible qui diminuerait encore le coefficient du travail théorique. Cette eau est renouvelée au moyen d'un filet à courant continu, qui baigne les soupapes.— Pour se débarrasser de l'eau introduite avec l'air comprimé, l'orifice O du tuyau communique avec un purgeur au fond duquel se précipite l'eau enlevée. Quand l'eau dépasse un certain niveau, elle soulève un flotteur qui ouvre une soupape d'écoulement.

« Le piston nous a paru mettre 7 secondes pour faire une oscillation complète; sa course est de $1^m,50$, et son diamètre de $0^m,50$; l'air refoulé, par seconde, est donc

$$\frac{\pi.\ 0,25^2.\ 1,50.\ 2}{7} = 0^{m^3},084.$$

Ce qui donne, par 24 heures :

$$3600 \times 24 \times 0,084 = 7617^{m^3},60$$ [1]. »

Il ne suffit pas de comprimer l'air dans les réservoirs, il faut conduire cet air jusqu'aux machines perforatrices qui s'escriment contre le roc, au fond des galeries. Pour cela, on se sert de tuyaux en fonte de $0^m,20$ de diamètre, $0^m,01$ d'épaisseur, et 3 mètres de longueur. Ces tubes sont boulonnés bout à bout. De peur que l'air ne perde de son ressort, on établit des joints hermétiques, en interposant, entre les extrémités des tubes, des rondelles de caoutchouc que l'on serre fortement. On a constaté, sur la conduite des Fourneaux, qu'à l'extrémité opposée au réservoir, la pression ne perd pas la 20e partie de sa valeur, lorsque les machines fonctionnent. La force élastique est sensiblement uniforme pendant le repos. Des tubes en caoutchouc, revêtus de grosse toile, conduisent l'air comprimé jusqu'aux machines.

Au sortir de l'usine de Modane, les conduites d'air passent sous la voûte ; puis elles reparaissent, s'élèvent au-dessus du sol et reposent, de distance en distance, sur des piliers en maçonnerie. Arrivées au tunnel, les conduites longent la voûte et, lorsqu'elles atteignent le point où le revêtement n'est pas encore terminé, elles plongent sous terre, en suivant l'aqueduc destiné à l'écoulement des eaux provenant des suintements.

[1] *De la traversée des Alpes*, par M. Baude, inspecteur général des ponts et chaussées.

Un aussi grand assemblage de tuyaux, soumis à des variations de température, change nécessairement de longueur. Pour faciliter les mouvements dus à la dilatation ou à la contraction, on place la conduite sur de petits tubes évidés qui rendent sa progression ou son recul plus facile. En outre, à des distances déterminées, on place des joints de dilatation. Un cuir embouti, en s'appliquant exactement contre le tube, ferme tout passage à la masse gazeuse. Un couvercle en tôle préserve le joint des atteintes de la pluie.

Arrivé aux machines perforatrices, l'air comprimé se comporte comme le ferait la vapeur et produit, sur un piston, un mouvement de va-et-vient qu'une bielle et une manivelle transforment en un mouvement circulaire continu. De là, la rotation du volant. Un engrenage conique transmet ce mouvement à une tige carrée, parallèle à la direction du fleuret. Cette tige, en tournant, entraîne avec elle un cylindre tronqué, faisant office de came, et réglant la marche d'un tiroir. Dès que l'air comprimé, que le tiroir distribue, fait irruption dans le cylindre où se meut le piston qui commande la marche du fleuret, l'outil frappe la roche avec violence. Dans les nouvelles machines, on évalue à 150 kilog. la force d'impulsion qui projette le piston. — Lorsque, par suite de la rotation du cylindre tronqué, la lumière d'admission de l'air comprimé se trouve fermée, l'air qui a agi sur l'une des faces du piston sort par la lumière d'échappement, et le piston revient sur ses pas, refoulé par le ressort de la masse d'air qui agit sur la face opposée. La position de l'ouverture d'échappement est combinée pour qu'il reste, entre le piston et le fond du cylindre, une colonne d'air emprisonnée formant m telas et évitant les chocs. Puis le tiroir démasque brusquement la lumière d'admission et le jeu recommence.

Ce premier mouvement ne suffit pas pour forer un trou de mine ; il faut, de plus, que le fleuret tourne de quelques degrés dans la cavité qu'il a faite. La rotation du fleuret est encore due à l'action de la tige carrée. — A cet effet, la rallonge qui sert de tige au piston traverse le cylindre de part en part et est munie d'une roue d'engrenage droit ayant seize dents. D'autre part, la tige carrée porte une roue à déclic. Grâce à cette disposition, lorsque cette tige fait un tour, la roue dentée, solidaire avec la rallonge du fleuret, avance d'une dent, c'est-à-dire fait un seizième

de tour. Après 16 coups, le fleuret a donc accompli une révolution complète.

Un autre mouvement est encore nécessaire : toute la machine doit pouvoir s'avancer d'elle-même au moment où la course du piston va devenir insuffisante. Pour atteindre ce but, on adapte à la rallonge, outre la roue dentée dont nous venons de parler, une vis à filet carré, folle en temps ordinaire, mais qu'un manchon tournant avec le fleuret peut embrayer par un glissement longitudinal. Si la vis tourne, comme elle engrène avec un écrou fixe, elle fait avancer le fleuret. Quant à l'embrayage, voici ce qui le détermine. Lorsque l'outil ne touche plus le fond du trou, un buttoir, fixé sur la tige du porte-outil, agit sur un levier qui déclanche l'arrêt d'un ressort à boudin. Celui-ci fait glisser le manchon. La vis cesse alors d'être folle et pousse devant elle le fleuret, jusqu'à ce que, par un jeu contraire, elle ne participe plus au mouvement du manchon.

Telles sont, en résumé, les dispositions au moyen desquelles l'appareil prend automatiquement les trois mouvements que la main de l'homme imprimerait à l'outil : projection, rotation, marche en avant.

Les machines perforatrices sont portées sur un affût composé de deux chariots en fer. Cet affût est solidement établi et d'un poids assez considérable pour résister aux chocs violents des perforateurs qui entaillent le roc et le mettent en feu. Il est formé de grands cadres en fer méplat et monté sur des roues en fonte. Le chariot antérieur porte les machines perforatrices ; sur le chariot postérieur, nommé *tender*, est une chaudière remplie d'eau soumise à l'action de l'air comprimé. Des tubes dirigent cette eau dans les trous de mine, et des injections répétées rejettent les débris et rafraîchissent les outils.

L'affût et les wagons à déblai sont retenus par des freins à sabot. Sans l'action de ces freins, ils descendraient d'eux-mêmes avec une vitesse croissante, puisque le sol de chaque galerie est incliné. Cette précaution est surtout nécessaire du côté des Fourneaux, où la pente est de $0^{m},023$ par mètre. — Une machine à air comprimé est chargée d'effectuer toutes les manœuvres.

L'affût porte 9 perforateurs. Quatre, placés 2 à 2 sur les côtés, sont destinés à percer les trous de mine dans les angles ; quatre autres, fixés dans l'intérieur, aux angles d'un carré, préparent

les trous de la 1e et de la 2e explosion ; le dernier correspond au centre de l'affût. Trois trous de mine, distants de 0m,20 de centre en centre, sont pratiqués sur une ligne horizontale tracée sur le front d'attaque. Ces trous, qui ont 0m,10 de diamètre, ne sont pas destinés à être chargés, mais à déterminer une ligne de moindre résistance. Les 8 autres perforateurs percent des trous, à droite et à gauche, au-dessus et au-dessous de cette ligne. On crible le fond de la galerie de 80 trous[1].

Cela fait, on recule l'affût derrière les portes de sûreté, afin de le mettre à l'abri des éclats de mine ; puis on commence le bourrage. Il y a, dès le début de cette opération, de grandes précautions à prendre : toutes les lumières doivent disparaître ; deux chefs mineurs restent seuls au fond de la galerie avec des lanternes sourdes. Ils procèdent d'abord au séchage des trous détrempés par les jets. De la terre argileuse réduite en poudre leur sert à cet usage. Les cartouches sont ensuite introduites avec des bourroirs en bois. Enfin, après avoir coupé les mèches, de manière à former des séries de diverses longueurs, le chef mineur y met le feu et se retire..... Une première explosion se fait entendre ; elle produit d'abord une ligne de rupture, puis forme le havage, c'est-à-dire un trou au centre de la roche. L'abatage du reste de la section se fait ensuite par deux explosions des coups préparés sur le front d'attaque : en tout, trois explosions pour la petite galerie. — Immédiatement après, on ouvre les robinets d'air comprimé, afin de chasser la fumée de la poudre aux environs de l'attaque. Les ouvriers retournent alors écarter les déblais et préparer les explosions suivantes.

Il nous reste maintenant à traiter une question dont on s'est vivement préoccupé, depuis l'inauguration des travaux : l'aération des galeries. — Évaluons donc la quantité d'air dont il est nécessaire de disposer, et voyons si l'on a, aux deux têtes du tunnel, des ressources suffisantes.

Le percement du souterrain se compose de trois opérations qui marchent simultanément : le forage de la galerie qui sert d'amorce ou galerie préparatoire, la mise au diamètre définitif et l'établis-

[1] Le forage mécanique ne s'applique qu'à la galerie préparatoire qui a 2m,50 de hauteur et autant de largeur. — Ces dimensions sont à peu près celles qu'avait le tunnel d'Annibal.

sement de la maçonnerie. Il y a donc trois ateliers à pourvoir : l'atelier des amorceurs, celui des élargisseurs, et celui des maçonneurs. — La galerie préparatoire a 6^{m2},25 de section; estimons à un maximum de 20 mètres le cube de ses déblais, ce qui, dans l'état actuel des choses, est un chiffre près de moitié trop fort. Pour effectuer le percement de cette galerie, 10 ouvriers sont nécessaires, 5 lampes et 18 kilog. de poudre. Chaque ouvrier consomme l'oxygène de 240^{m3} d'air par 24 heures, soit $2{,}400^{m3}$ pour les 10 ouvriers. Cinq lampes, à 168^{m3} l'une, exigent le renouvellement de 840^{m3} d'air. Enfin, l'explosion de la poudre produit des gaz qu'il est indispensable de noyer dans $4{,}500^{m3}$ d'air pur.

D'un autre côté, 140 ouvriers travaillent à l'élargissement du tunnel et à la maçonnerie. Prenons un nombre plus grand, celui des ouvriers à l'œuvre, lorsque la commission du gouvernement visita les travaux. Il y avait, à ce moment, 167 mineurs, maçons et manœuvres. Ces 167 ouvriers viciaient $40{,}080^{m3}$ d'air ; les 83 lampes dont ils se servaient consommaient l'oxygène de $13{,}944^{m3}$ d'air, et les 80 kilog. de poudre qu'ils brûlaient pour faire sauter la roche exigeaient $20{,}000^{m3}$ pour être dilués. — Ces résultats sont résumés dans le tableau suivant, que nous empruntons au rapport de la commission.

GALERIE PRÉPARATOIRE.

10 ouvriers. . . .	à 240^{m3} l'un. . . .	$2{,}400^{m3}$	
5 lampes.	à 168.	840	= $7{,}740^{m3}$.
18^{k} de poudre. . .	à 250.	4,500	

ÉTABLISSEMENT DE LA GRANDE GALERIE.

167 ouvriers. . .	à 240^{m3} l'un.	$20{,}000^{m3}$	
83 lampes.	à 168.	13,944	= 74,024
80^{k} de poudre. . .	à 250.	40,080	
		Total. . . .	= $81{,}764^{m3}$.

Le volume d'air qu'il faut être prêt à verser dans les deux galeries s'élève, comme on le voit, à $81{,}764^{m3}$ par 24 heures, ce qui fait $3{,}407^{m3}$ par heure ou 1^{m3} environ par seconde. — Il est prudent de tenir de plus en réserve une certaine provision d'air, pour le cas où les machines de compression viendraient à se déranger.

Les compresseurs doivent donc envoyer dans le tunnel près

de 4,000^{m3} d'air par heure. Le travail théorique nécessaire pour effectuer cette compression est de 20,574^{km}. par seconde, ou

$$\frac{20,574}{75} = 274 \text{ chev.-vap.}$$

L'Arc et le Mélezet donnent gratuitement plus de puissance qu'il n'en faut pour obtenir ce résultat.

A quelque point de vue qu'on se place, on arrive donc à cette conclusion, que le percement du mont Thabor n'est pas une entreprise chimérique. L'histoire enregistrera les noms des hommes d'État et des ingénieurs qui n'ont pas craint d'aborder un pareil problème, et qui, en face d'un projet sans précédents, plein d'incertitudes, n'ont pas douté des ressources de l'art.

Les barrières naturelles qui hérissent la surface du globe servent à exercer le génie de l'homme, bien plus qu'à séparer les nations. La terre n'est pas un damier dont chaque case doive se souiller de sang humain, pour la défense d'intérêts misérables. Tel ne peut pas être le plan du Créateur. Pour excuser la guerre, on consulte trop les discordances de détail, et pas assez l'harmonie de l'ensemble. L'univers est la Bible de la paix.

Au commencement de cette étude, nous énumérions les invasions dont l'Italie fut le théâtre, malgré sa ceinture de mers et de montagnes. Pour quiconque regarde les choses d'un peu haut, conquérants et ingénieurs sont artisans d'une même œuvre. Dans l'ordre moral comme dans l'ordre physique, il existe une sorte d'équilibre mobile ; les irruptions des envahisseurs sont soumises, comme les tempêtes, à des lois invisibles, et concourent à un travail de pondération. — Ouvriers intelligents, ou instruments aveugles de la Providence, les conquérants vont chercher la lumière ou la porter aux pays conquis ; ils équilibrent ainsi la civilisation et préparent la paix par la guerre. — En resserrant le lacis des chemins de fer, des routes et des canaux, en passant sous les montagnes, en escaladant les cols, en emprisonnant les airs, en domptant les eaux, en dérobant le feu du ciel, les ingénieurs, par d'autres voies, arrivent au même but ; soldats de la civilisation, préférant la règle et le compas au mousquet et à l'épée, ils sont les collaborateurs pacifiques des conquérants.

Assisterons-nous au couronnement de leur œuvre commune ?

Assurément non. Les entreprises de ce genre demandent, non des années, mais des siècles. Qu'importe ! notre époque aura puissamment contribué à l'achèvement de l'édifice ; elle aura préparé cette sorte d'apothéose par laquelle se terminera le grand drame de l'humanité !

E. Menu de Saint-Mesmin.

II

LE CHEMIN DE FER DE LYON A LA CROIX-ROUSSE

I

Aspect général de la ville de Lyon. — Altitude du plateau de la Croix-Rousse. — Importance de la circulation entre ce point et le quartier des Terreaux. — Voies de communication. — Problème à résoudre. — MM. Molinos et Pronnier.

Lorsque, du haut de la montagne de Fourvières, on jette les yeux sur la ville de Lyon, on est frappé de la forme qu'affecte la cité construite sur l'emplacement où, cinquante ans environ avant l'ère chrétienne, Munatius Plancus vint, d'après l'ordre du sénat, établir une colonie romaine. Resserrée, en grande partie, entre le Rhône et la Saône, dominée par des hauteurs, la ville offre un aspect vraiment pittoresque.

Vers le centre de la péninsule qui s'étend entre les deux fleuves, au nord de l'Hippodrome, au sud du cours Napoléon, dans un quartier dont l'élégance fait un singulier contraste avec les rues étroites et sombres bâties sur les collines, l'industrie moderne a planté sa tente. Là s'élève la gare de Perrache, où aboutissent les chemins de Paris à Marseille, de Genève et de Saint-Étienne. — Au nord de la presqu'île, près de la place Sathonay, se trouve une autre tête de ligne, l'embarcadère du railway qui conduit de Lyon à la Croix-Rousse et qui sert de trait d'union entre la cité et la route de Sathonay.

La Croix-Rousse est un des faubourgs les plus populeux : on n'y compte pas moins de quarante mille habitants, presque tous employés dans les manufactures ; c'est plutôt une ville qu'un quartier. Entre cette ville et les Terreaux, qu'on peut regarder comme

le centre des affaires, les relations sont incessantes : ici, la fabrique et les dépôts; là, les artisans et leurs familles. Aussi existe-t-il, entre ces deux points, une communication des plus actives. Les chiffres ont, en pareille matière, une certaine éloquence : dans une seule des rues qui conduisent de Lyon à la Croix-Rousse, on évalue le nombre des passants à trente mille par jour, en moyenne.

Cependant, le plateau de la Croix-Rousse est d'un abord extrêmement difficile. Il est situé à une altitude considérable au-dessus de la presqu'île lyonnaise, et, pour franchir la différence de niveau, il n'existe que trois voies. Sur le versant de l'ancien jardin des Plantes, le piéton pressé et ingambe gravit de rapides escaliers qui le conduisent au sommet de la montagne. Ceux qu'effraye une pareille ascension suivent, à pas lents, la rue de la Grande-Côte, dont la pente, qui atteint souvent deux décimètres par mètre, justifie la dénomination. Par ce chemin, il faut faire un demi-kilomètre avant de poser le pied sur le plateau. Quant à la rue de l'Annonciade, qui offre des pentes mieux ménagées, elle décrit de si longues courbes qu'elle convient aux promeneurs plutôt qu'aux gens affairés.

Ces détails topographiques nous étaient nécessaires pour mettre en relief la nécessité qu'il y avait d'établir un moyen de transport rapide et économique entre deux quartiers qu'une communion d'intérêts met en rapport constant. De là la création du chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse.

Cette création présentait des difficultés sans nombre. Pour les surmonter et vaincre en même temps toutes les résistances de l'opinion publique, il fallait confier l'entreprise à des mains habiles. La Compagnie choisit pour ingénieurs deux hommes dont les noms étaient une garantie de succès : MM. Molinos et Pronnier. Ces deux jeunes et hardis ingénieurs n'en étaient pas à leur coup d'essai : à peine sortis de l'Ecole centrale, ils avaient eu l'occasion de suivre, dans la pratique de leur art, les leçons de M. Eugène Flachat, alors ingénieur en chef du chemin de fer de Saint-Germain. Dès cette époque, ils avaient exécuté des travaux nombreux et importants. Le grand ouvrage qu'ils avaient écrit sur les ponts métalliques [1], ouvrage devenu, pour ainsi dire, classique et qui a

[1] *Traité théorique et pratique de la Construction des ponts métalliques;* in-4 illustré de gravures sur bois et de planches sur acier, avec atlas contenant 48 demi-feuilles grand aigle. — Paris, Morel.

eu le mérite d'asseoir et de vulgariser une théorie encore peu connue, avait, de bonne heure, placé ses auteurs au premier rang. Enfin, chacun se rappelait leurs travaux sur l'Oise et la basse Seine, et l'initiative qu'ils avaient prise, à l'époque de la première installation, sur une grande échelle, du touage sur chaîne noyée.

Le problème que MM. Molinos et Pronnier avaient à résoudre était entièrement neuf ; il s'agissait de gravir, non pas comme à Saint-Germain et à Liége, des plans inclinés de $0^{m},035$ par mètre, au maximum, mais une rampe de près de $0^{m},200$ par mètre. — Malgré des obstacles de toutes sortes, les travaux, commencés au mois de février 1860, furent complétement achevés deux ans plus tard, presque jour pour jour, en février 1862.

II

Le plan incliné de la Croix-Rousse. — Machines motrices. — Câbles et tambours d'enroulement. — Détails de construction.

Le chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse est un plan incliné presque parallèle à la rue de la Grande-Côte. L'embarcadère de la ville est situé en face de la rue Terme prolongée ; celui de la Croix-Rousse est voisin de l'ancien mur d'enceinte. La longueur du plan incliné est de $499^{m},20$; la hauteur à franchir égale 70 mètres, et la pente, par mètre, en déduisant les paliers des gares, est de *seize centimètres et demi.*

Il n'entre pas dans notre cadre de revenir sur les discussions soulevées à propos des plans inclinés[1] ; ce que nous voulons aujourd'hui, c'est offrir au lecteur un exposé rapide de la solution adoptée par MM. Molinos et Pronnier[2].

[1] On trouvera sur cette question, d'intéressants détails dans le *Traité élémentaire des Chemins de fer*, par A. Perdonnet. — Paris, Garnier, 1860.

[2] Les travaux nécessités par une semblable entreprise ont été décrits par leurs auteurs. Sous ce titre : *Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, description des travaux et du matériel fixe et roulant*, MM. Molinos et Pronnier ont publié, à la librairie Morel, un ouvrage qui intéressera tout le monde et qui est indispensable aux ingénieurs et aux savants. Malgré les expressions techniques et les calculs qu'il contient, cet ouvrage est écrit avec une telle clarté que chacun peut le comprendre à livre ouvert. D'ailleurs des planches faites, non pas seulement avec soin, mais avec luxe, jettent une vive lumière sur tous les détails du projet.

La première question débattue fut relative à l'emplacement même du chemin, et aux travaux d'art auxquels le choix fait donnerait lieu. Il fut arrêté que la gare de la Croix-Rousse serait située dans la rue de Belle-Vue, et que celle de Lyon serait dans l'alignement de la rue du Jardin-des-Plantes ; qu'un pont, couvrant un quadrilatère tout à fait irrégulier, serait construit sous la rue du Commerce, et que, pour racheter la différence qui existerait entre les deux culées, ce pont serait composé d'anneaux cylindriques, de largeurs variables ; que le chemin serait en tranchée sur toute sa longueur ; qu'un deuxième pont relierait les deux tronçons de la rue Tholozan ; qu'il n'y aurait, sur tout le parcours, que deux tunnels : le premier, passant sous un jardin, une maison et la rue Neyret, le second, nommé Grand tunnel, ayant sa tête aval à une soixantaine de mètres de la rue Neyret, et sa tête amont près de la rue de Crimée ; qu'un troisième pont serait construit sous cette rue et qu'enfin on arriverait, à ciel ouvert, jusqu'à la gare de la Croix-Rousse.

On se demanda ensuite quel serait le nombre des voies. Comme le plan incliné de la Croix-Rousse est destiné aux transports des voyageurs et des marchandises, on songea, dans le principe, à en établir quatre ; mais les dépenses qu'une telle installation nécessitait émurent la Compagnie et décidèrent les ingénieurs à recourir à un artifice permettant d'assurer ce double service avec deux voies seulement. C'est pour cela que, dans chaque gare, les voies se ramifient en quatre tronçons destinés, les deux intérieurs aux voyageurs et les deux autres aux marchandises. L'écartement intérieur des rails fut fixé à $1^{m},440$, cote adoptée sur les lignes françaises ; la largeur de l'entre-voie à 2 mètres, et la distance du bord extérieur des rails aux pieds-droits des travaux d'art, à $1^{m},456$.

Nous avons dit que la pente du chemin, sur tout le parcours, excepté dans les gares où elle ne doit pas dépasser $0^{m},020$, égale 16 centimètres et demi par mètre. Pour opérer la remorque d'un train sur une pareille rampe, il ne fut pas un seul instant question d'employer les locomotives. On eut recours au système usité dans les plans inclinés. — Des machines à vapeur fixes font mouvoir un treuil qui, par l'intermédiaire d'un câble, sert à la fois à l'ascension et à la descente de deux trains. On utilise de la sorte le poids du train descendant pour remorquer le train mon-

tant. Le treuil, en tournant en sens inverse, produit l'effet opposé.

Les tambours d'enroulement, qui jouent un si grand rôle dans la marche combinée des trains, ont été l'objet d'une étude spéciale. Ils n'ont pas moins de $4^m,50$ de diamètre et sont formés de disques en fonte sur lesquels sont fixées des douves en chêne. Un mécanisme directeur empêche les brins du câble de chevaucher les uns sur les autres, et deux puissants freins à bande permettent, au besoin, d'arrêter la machine : l'un est manœuvré à la main au moyen d'un vis ; l'autre, au moyen d'un cylindre à vapeur placé sous les tambours.

La construction des câbles demandait de plus grands soins encore et de plus grandes précautions. La condition imposée par le cahier des charges, d'une double exploitation, pour les voyageurs et pour les marchandises, exigeait, comme on l'a vu, une ramification en quatre voies, et, par suite, des courbes à l'entrée des gares ; il fallait donc renoncer à l'usage des câbles plats, qui ne peuvent être employés que sur des alignements droits. D'un autre côté, les câbles ronds ne peuvent dépasser certain diamètre, sous peine de se plier très-mal sur les tambours d'enroulement. Les auteurs du projet s'arrêtèrent au diamètre de $0^m,060$, comme à un maximum qu'il est impossible de dépasser sans tomber dans de graves inconvénients. Ce n'est pas tout, le contrôle, par un sentiment d'extrême prudence, demandait que le câble ne supportât jamais, dans le service, un effort supérieur au $\frac{1}{10}$ de la rupture. Les éléments de la question se trouvaient ainsi déterminés : le câble, destiné à remorquer 9,000 kil., ne devait rompre que sous un effort supérieur à 90,000 kil., son diamètre ne devait pas dépasser 60 millimètres ; il fallait donc qu'il fût fait avec des fils capables de supporter, avant de rompre, un effort supérieur à 120 kil. par millimètre carré.

Il n'existe qu'un seul métal qui puisse remplir ces conditions, l'acier fondu ; le premier câble mis en service fut donc fabriqué avec cette matière. Il se composait de sept torons de trente-six fils chacun, formant, en total, deux cent cinquante-deux fils. Les attaches des câbles avec le train sont faites au moyen d'une pièce en bronze présentant à peu près la forme de la moitié d'un 8. L'extrémité est repliée dans la gorge de cette pièce, et est épissée avec le câble, sur une longueur de $0^m,80$. La pièce en bronze est percée d'un trou traversé par un boulon relié, au moyen de deux

flasques en fer, à la barre d'attelage du wagon. — Le câble n'est pas, bien entendu, abandonné à lui-même sur la voie; il repose sur des poulies à gorge qui sont montées sur un arbre en fer tournant dans des paliers graisseurs. Les paliers sont distants de $2^m,50$ et boulonnés sur les traverses de la voie.

Le premier câble d'acier fondu n'a pas donné les résultats qu'on en attendait; il s'est assez promptement usé. Il avait été exécuté sous la préoccupation trop exclusive d'un coefficient de ruptures exagéré. Cette condition, en effet, est loin de suffire à toutes les exigences de la question. Pour le bon service d'un câble, il est nécessaire que le métal qui le compose s'allonge le plus possible, sous des efforts déterminés, car le résultat de l'allongement est de faire travailler plus également tous les fils, en remédiant aux inégalités de longueur et de tension qui, par suite de défauts inévitables de fabrication, existent dans les divers torons. Un fil de métal offre d'ailleurs d'autant moins de chances de rupture sous l'influence d'un choc qui est plus extensible. Par exemple, un fil d'acier fondu capable de supporter un poids statique de 120 kil. par millimètre carré, peut, sous l'influence d'un poids animé d'une puissance vive produisant un choc, rompre plus aisément qu'un fil de fer très-doux, qui casserait sous un effort statique de 60 kil[1].

Malheureusement, dans la confection des fils, on ne peut élever le coefficient de rupture qu'en donnant au métal une dureté qui a pour effet de réduire de plus en plus les allongements sous les mêmes charges. C'est par là que le premier câble de la Croix-Rousse a péché. Doué d'une grande résistante à la rupture, il était trop peu extensible : les inégalités de fabrication ont déterminé l'usure des deux premiers torons qui portaient le plus grand

[1] Cette propriété qui, au premier abord, a quelque chose de paradoxal, se démontre très-facilement. Soient, en effet, deux fils mécaniques, A et B, l'un de fer et l'autre d'acier fondu, le premier rompant sous un effort statique de 60 kil. par millimètre carré, le deuxième sous un effort de 120 kil. Désignons par a et b les allongements des deux fils sous l'action d'un choc. Le travail mécanique des deux fils sera représenté par

$$t_1 = 60 \times a \text{ et } t_2 = 120 \times b.$$

Si le fil de fer est susceptible d'un allongement plus grand que le fil d'acier, on pourra avoir, dans certains cas,

$$t_1 > t_2 \qquad \text{c. q. f. d.}$$

effort, et, au lieu de durer un an environ, le câble s'est trouvé hors de service au bout de cinq ou six mois.

Il est certain que la compagnie eût trouvé, en persistant dans l'emploi de l'acier fondu, une excellente solution, à la condition de fabriquer de l'acier plus doux et plus extensible, en abaissant les coefficient de rupture. Mais, quelques modifications apportées dans l'exploitation et dans le matériel roulant, par suite de dérogations au cahier des charges, ont permis, en simplifiant la question, de revenir à l'usage des câbles communs en fil de fer.

Quant aux machines qui servent à hisser les trains ou à modérer la rapidité de leur descente, elles présentent des dispositions particulières qu'il n'est pas inutile d'étudier. D'abord, elles doivent être capables de remorquer un train chargé, même lorsque le train qui descend se trouve complétement vide. C'est évidemment le cas le plus défavorable qui puisse s'offrir. — Un calcul très-simple permet d'évaluer à 119 chevaux la force nécessaire pour remorquer un convoi dans ces conditions. Mais, comme il faut tenir compte des pertes de travail accessoires, telles que les frottements des poulies, la roideur des câbles dans les courbes, etc., etc., MM. Molinos et Pronnier, au lieu de se contenter d'une puissance de 119 chevaux, ont donné à leurs machines la force de 150 chevaux. La pression de la vapeur dans les chaudières est de 5 atmosphères, et la course du piston de 2 mètres. Il n'y a ni détente variable, ni condensation. Le seul appareil de détente que contiennent les machines de la Croix-Rousse est la coulisse de Stephenson, au moyen de laquelle on effectue les changements de marche. Afin de diminuer le surcroît de dépense résultant de l'absence de détente variable et de condensation, on utilise la chaleur de la vapeur d'échappement, pour élever la température de l'eau d'alimentation. Cette élévation de température se produit dans un appareil nommé *réchauffeur*.

« Le *réchauffeur* se compose d'un cylindre en tôle contenant des tubes dont les extrémités sont engagées dans deux plaques percées de trous. L'eau d'alimentation, arrivant dans un réservoir ménagé au-dessous de la plaque tubulaire inférieure, est refoulée par la pompe à travers les tubes, et arrive dans un second réservoir situé au-dessus de la plaque tubulaire supérieure, d'où elle se rend dans les chaudières. La vapeur d'échappement, introduite dans la partie de l'appareil comprise entre les deux plaques tubu-

laires, circule autour des tubes, avant de se rendre dans la cheminée, et réchauffe ainsi l'eau d'alimentation à son passage dans ces tubes. On a adopté cette disposition, inverse de celle des chaudières tubulaires usitées, parce que, l'eau passant dans l'intérieur des tubes, il est facile de les nettoyer, lorsqu'ils sont incrustés, par un large orifice pratiqué dans les réservoirs extrêmes[1]. »

Par suite de cette disposition, l'eau d'alimentation arrive à la température de 90° dans les chaudières où doit se produire sa vaporisation. Ces chaudières, dont la surface de chauffe est de 80^{mq}, sont tubulaires et marchent à courant d'air forcé. L'usage d'un ventilateur, dans une exploitation où le travail est soumis à de fréquentes intermittences, offre plusieurs avantages : il permet d'activer la production de la vapeur ou de la ralentir, de maintenir une pression constante, en un mot, de disposer, sans économie inopportune et sans dépense exagérée, d'une quantité de vapeur toujours proportionnée aux exigences de l'exploitation.

III

Freins automoteurs. — Voitures à voyageurs. — Transport des marchandises. — Construction de la voie. — Conclusion.

Parmi les conditions imposées par le cahier des charges, l'une des plus importantes était relative aux freins, dont les trains, qui font le service de Lyon à la Croix-Rousse, devaient être munis. La Compagnie comprit qu'il était de son honneur et de son intérêt d'assurer aux voyageurs la plus grande sécurité et, par un luxe de précautions, de rendre tout accident impossible. Dans ce but, et pour dissiper toutes les craintes que la rupture des câbles pouvait inspirer, elle exigea que les wagons fussent armés de freins extrêmement puissants, permettant d'arrêter un train lancé, sur le plan incliné, à la vitesse réglementaire de 2 mètres par seconde.

Il ne suffisait plus ici d'enrayer les roues des wagons, car sur une pente de 0^{m},1650 par mètre, le train, dans le cas de la rupture du câble, eût glissé sur les rails malgré l'enrayement, et, obéissant à l'action de la pesanteur, se fût précipité avec une vitesse

[1] *Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse*, par MM. Molinos et Pronnier. Paris, Morel, 1862.

croissante. Il était donc indispensable de recourir à un nouveau système qui, joignant son action à celle des freins ordinaires, fût capable de ralentir la descente du train et de l'arrêter, au besoin, dans un espace très-court. Pour arriver à ce résultat, il fallait créer un nouvel appareil et le soumettre, avant d'en faire définitivement l'application, à une série d'expériences décisives. C'est ce que firent MM. Molinos et Pronnier. Ils imaginèrent d'ajouter aux anciens freins un système dont ils sont les inventeurs.

« Sur le plan incliné de la Croix-Rousse, disent-ils, nous avons employé deux espèces de freins. La première, qui a pour objet l'enrayage des roues, se compose de quatre freins à bandes, analogues à ceux qui sont employés sur les grues ; ils entourent les jantes des roues élargies intérieurement à cet effet et en saillie sur les bandages. Chaque bande est articulée à un levier qui porte, à son autre extrémité, un contre-poids. Quand les contre-poids tombent, les bandes viennent s'appliquer sur les jantes, les serrent énergiquement et enrayent les roues.

« Le second système se compose d'un arbre portant, à ses deux extrémités, deux appareils identiques. Chacun d'eux consiste essentiellement en une poulie à gorge conique, calée sur l'arbre, et en deux fortes mâchoires d'étau au travers desquelles l'arbre passe avec un jeu convenable. Chaque mâchoire est reliée avec une pièce en forme de joug, formant écrou en son centre. Ces écrous se vissent sur les parties filetées de l'arbre, de chaque côté de la poulie. Les deux pas de vis sont en sens contraire.

« Si le câble casse, le ressort de traction, en se détendant, pousse une came qui soutient l'ensemble de l'appareil suspendu ; celui-ci tombe sur le rail et la poulie à gorge conique l'embraye énergiquement. Le wagon continuant à descendre, la poulie tourne avec la vis et rapproche les mâchoires de l'étau. Ces dernières, en serrant le champignon du rail, produisent un frottement calculé de manière à arrêter le véhicule. — La chute de ce frein provoque celle du contre-poids des freins à bandes[1]. »

D'après une autre clause du cahier des charges, chaque wagon

[1] Ce système de freins, breveté en France et à l'étranger, a obtenu, à l'Exposition de Londres, une mention honorable. Dans l'assemblée des actionnaires tenue à Paris le 11 mai 1863, le général de Laverderie, président du conseil d'administration, annonçait l'ouverture de négociations avec un certain nombre de compagnies, au sujet de l'application du *frein-Molinos*.

devait avoir un frein dont le jeu dépendît de celui du véhicule auquel s'attache le câble de traction. A cet effet, le deuxième wagon fut muni d'un appareil analogue à celui que nous venons de décrire; mais, de plus, pour établir entre eux la solidarité nécessaire, la came qui soutient le frein de la seconde voiture fut reliée au moyen d'une tige, d'un tendeur et d'une manivelle, à l'arbre de support du premier frein. Grâce à la disposition adoptée dans cette transmission, la chute du second frein était la conséquence de celle du premier.

On poussa les précautions plus loin encore : on prévit le cas où les appareils de sûreté viendraient à ne pas fonctionner automatiquement. Le garde-frein peut, en mettant la main sur une manette, agir, par l'intermédiaire d'un levier et d'une tige, sur la came qui supporte le premier frein. Un mouvement imprimé à la manette provoque la chute successive des appareils, enraye les roues et serre les mâchoires des étaux.

L'évaluation de la puissance du frein Molinos ne présente aucune complication de calcul, mais elle offre quelques difficultés dues à la variation des coefficients de frottement. En écartant, autant que possible, les causes d'incertitude, la théorie permet de conclure que le train, depuis le serrage des freins jusqu'au moment où il s'arrête, parcourt 3 mètres environ. C'est à peu près le nombre auquel on arrive lorsqu'on prend la moyenne des expériences qui ont servi à éprouver la théorie.

Avec les freins-étaux, il devient indispensable de donner à la voie une extrême solidité; car, en cas d'accident, les wagons se cramponnent, pour ainsi dire, aux rails qu'ils tendent à arracher violemment. Aussi a-t-on adopté le système de voie sur longuerines, qui est susceptible d'une grande résistance. Les longuerines qu'on emploie à cet usage ont 5 mètres de longueur sur 40 centimètres d'équarrissage. Le rail employé appartient au système Vignole : il est à champignon et à base plate. Les rails sont fixés aux longuerines par des attaches et réunis, à l'endroit des joints, par des plaques rivées à la base et encastrées dans des auges en fonte. Ces dernières sont elles-mêmes entaillées dans les longuerines. De cette façon, on évite les éclisses dans les joints, condition importante à remplir, puisque le rail ne doit présenter aucune saillie sur champ, sous peine d'arrêter brusquement le train, dans le cas où l'on ferait jouer les freins de détresse. Les longue-

rines sont entre-toisées par des traverses espacées de $2^m,50$, et tout le système repose sur un *ballast* préparé.

Le matériel roulant exigeait, comme le matériel fixe, des dispositions nouvelles. C'est ainsi que les voitures à voyageurs, à cause du peu d'étendue des gares et de la courte distance à parcourir, sont mixtes et à deux étages. On arrive à l'impériale par deux escaliers placés en tête et en queue du wagon. Cinquante personnes peuvent prendre place sur les banquettes de l'impériale, entre lesquelles, d'un bout à l'autre du wagon, règne un couloir longitudinal où l'on peut circuler debout, grâce à une surélévation du pavillon. La caisse contient cinquante-huit personnes, réparties dans cinq compartiments. Les quatre compartiments extrêmes renferment chacun douze voyageurs; celui du milieu n'a que dix places; c'est le compartiment des premières classes. Chaque wagon renferme donc, quand il est plein, cent huit voyageurs. Un train se compose de deux wagons seulement[1].

Le mode usité pour le transport des marchandises ne peut être passé sous silence. S'il avait fallu, pour les envoyer de Lyon à la Croix-Rousse ou réciproquement, les amener en gare, les décharger, les placer sur les wagons, rompre charge de nouveau à l'arrivée pour les livrer aux camions destinés à les porter à domicile, ces transbordements multipliés auraient occasionné de grandes pertes de temps et, de plus, auraient singulièrement augmenté les prix de transport. En effet, non-seulement il eût fallu rétribuer un personnel nombreux, mais encore il eût été indispensable d'acheter, dans le quartier même des affaires, c'est-à-dire sur un emplacement très-recherché et, par suite, très-coûteux, de vastes terrains destinés à être couverts de magasins.

Pour remédier à ces inconvénients, on décida qu'on effectuerait le transport sans rompre charge. A cet effet, les trucks à marchandises sont construits de manière à se trouver, dans les gares, au niveau des quais. Les voitures sont amenées sur ces trucks et transportées, en même temps que le cheval qui les traîne, jusqu'au point d'arrivée. De solides attaches retiennent le véhicule et l'attelage et rendent tout mouvement impossible.

On voit, par les détails dans lesquels nous sommes entré, com-

[1] Depuis quelque temps, on remplace les premiers véhicules par des wagons sans impériale et découverts sur les côtés à la manière allemande.

ment MM. Molinos et Pronnier ont prévu et surmonté toutes les difficultés que leur présentait la construction du plan incliné de Lyon à la Croix-Rousse. La commission chargée de recevoir les travaux s'est déclarée satisfaite, lorsqu'elle est venue assister aux dernières épreuves dont elle avait elle-même dicté les conditions. Cette commission était composée de MM. Aynard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et Dusouich, ingénieur en chef des mines, auxquels avaient été adjoints deux autres ingénieurs, MM. Gros et Luuyt.

Après l'inspection des travaux d'art, des machines, etc., leur réception pure et simple fut prononcée. — Pour le matériel roulant, les câbles et les freins, le programme d'essai fut arrêté de concert avec l'administration supérieure : les voitures à voyageurs furent lestées d'un poids égal au maximum de leur charge, et, pendant deux jours, elles firent le service de Lyon à la Croix-Rousse et inversement, depuis huit heures du matin jusqu'à dix heures du soir. Les trains partaient tous les quarts d'heure et marchaient à la vitesse convenue de deux mètres par seconde. Les véhicules à voyageurs et les trucks à marchandises résistèrent à toutes les épreuves. L'essai du câble ne fut pas moins heureux. Quant aux freins, pour les éprouver, on simula la rupture du câble. Pour cela, entre le câble et la barre d'attelage du wagon de tête, on interposa un déclic qu'on déclancha à un signal donné. Le train se trouva ainsi abandonné à lui-même sur une pente de $0^{m},1650$. Il y eut un instant d'émotion... Mais bientôt l'effet des freins se fit sentir et le train s'arrêta dans un espace de quelques mètres.

C'était trop peu d'une seule expérience : seize fois la rupture du câble fut simulée, et, seize fois, les freins donnèrent, en présence de la commission et d'un public nombreux, convié aux expériences, les résultats les plus rassurants.

Il faut lire les détails des travaux du chemin de Lyon à la Croix-Rousse, les devis du matériel fixe et roulant, le récit des expériences faites devant la commission de réception, etc., etc., dans l'ouvrage même dont cet article n'offre qu'une rapide esquisse. Il y a d'ailleurs, à la suite du livre que nous recommandons au lecteur, un atlas qu'aucune description ne peut remplacer. Là se trouvent le profil en long et le plan du chemin ; des plans et des coupes de machines et de chaudières ; un dessin très-curieux

d'un châssis avec frein automoteur; dix planches avec des légendes et des cotes qui permettraient au moins habile de répéter, à l'occasion, les conceptions hardies de MM. Molinos et Pronnier

E. Menu de Saint-Mesmin.

III

LA NAVIGATION AÉRIENNE

ÉTUDE HISTORIQUE ET CRITIQUE

I

Opinion de M. Babinet sur la navigation aérienne. — La sainte hélice. — Le ballon-géant. — Combinaison financière. — La météorologie et l'aérostation.

« La solution du problème de la navigation aérienne n'est plus aujourd'hui qu'une affaire de technologie et d'argent. » Ainsi s'exprimait, il y a quelques mois, dans l'amphithéâtre de l'École de médecine, à l'une des conférences faites sous le patronage de l'Association polytechnique, un académicien qui, pour dénaturer, en le rappelant, un mot de Fontenelle, « a la main pleine de vé-« rités et l'ouvre à tout venant. »

Une déclaration aussi formelle, faite par un juge aussi compétent, devait être d'un grand effet. Déjà, dans le monde, on s'entretenait de certains projets de locomotion aérienne et d'expériences faites, disait-on, dans les ateliers d'un photographe du boulevard des Italiens. On ne s'en tint plus à ces termes vagues; on voulut avoir des renseignements plus précis. Plusieurs journaux se firent les tribunes d'où les inventeurs lancèrent leurs formules; les noms de MM. de Ponton d'Amécourt, de la Landelle et Nadar, déjà bien connus, devinrent populaires; leur hélicoptère fut l'objet de toutes les conversations. On secoua la poussière sous laquelle avaient disparu les projets de du Quet, de Paucton et de C. Dallery; on rappela les prodiges accomplis, en 1836, par l'agent propulseur du capitaine Ericsson[1]; l'hélice, « la sainte hélice, »

[1] L'emploi de l'hélice comme agent propulseur est indiqué dans un appareil imaginé par du Quet, en 1727. Le *ptérophore* décrit par Paucton dans

comme on a dit, fut le thème sur lequel chacun composa des variations.

C'est à ce moment que parut « *l'Aéronaute,* » journal spécial, traitant exclusivement les questions d'aérostation et de navigation aérienne. Un numéro spécimen fut tiré à cent mille exemplaires. Voulant, dès le début, faire sa déclaration de foi, le fondateur de ce journal inscrivit cette épigraphe en tête de son premier article : « Pour lutter contre l'air, il faut être spécifiquement plus lourd que l'air. » C'était jeter le gant aux constructeurs d'aérostats.

Cependant, au moment même où l'on composait le premier numéro de *l'Aéronaute,* trois cents ouvriers et ouvrières travaillaient à la confection du plus grand ballon connu dans les annales de l'aérostation et l'on faisait, en grande hâte, les préparatifs d'un prochain voyage aérien. Quel était donc le capitaine de cette aventureuse expédition? Sans doute un aéronaute jaloux de prouver « qu'il n'est pas interdit au ballon d'être vaisseau, » et de démentir, par une expérience éclatante, aux yeux de tout Paris, ce principe énoncé par M. de la Landelle : « Le ballon est né bouée et restera bouée[1] ? » — Non; le chef de l'entreprise était celui-là même qui avait dit : « La direction des ballons est une chimère; ceux qui s'y obstinent sont, pour la plupart, des fous de cabinet, d'autant mieux portés à se perdre dans les nuages, qu'ils n'ont pas besoin, pour cela, de se déranger de leur table à écrire[2]. »

Le 11 octobre, la population parisienne fut convoquée au Champ de Mars. Une foule immense vint au rendez-vous : la place d'armes, les quais, les ponts, l'arc de triomphe de l'Étoile, le Trocadéro, étaient couverts de spectateurs. A cinq heures, un immense aérostat se balançait dans les airs, aux acclamations de la multitude, un peu étonnée, toutefois, de revoir encore des ballons, après la condamnation si impitoyable dont ils avaient été frappés.

« *Le Géant* » — c'est le nom de l'aérostat que chacun a

sa *Théorie de la vis d'Archimède,* est de 1768. Le brevet pris par C. Dallery est de 1803. — Depuis les travaux d'Ericsson, la navigation à hélice a pris de grands développements : une compagnie anglaise dessert les principaux points du globe.

[1] *La Vie navale,* par M. G. de la Landelle. Paris, Hachette, 1861.

[2] *Manifeste de l'automotion aérienne,* par M. Nadar.

pu voir au Champ de Mars ou dans les ateliers de construction, a la forme d'une sphère terminée en cône à la partie inférieure. Il est en taffetas blanc mis en double, pour plus de solidité. Chaque enveloppe est formée de côtes ayant 45 mètres de longueur. Ces côtes, au nombre de 108 par sphéroïdes, sont cousues à la main et à double piqûre. — Au-dessous de l'aérostat est suspendue une nacelle à deux étages, comprenant un rez-de-chaussée et une plate-forme. Haute et profonde de $2^m,30$, longue de 4 mètres, la nacelle est protégée contre toute immersion, non-seulement par des bouées intérieures, mais encore par une ceinture en caoutchouc soufflé. En cas de descente loin des centres de population, on peut la monter sur deux essieux et la convertir en un char à quatre roues.

C'est à bord de cette nacelle que les aéronautes s'embarquèrent. Vers dix heures du soir, ils descendaient à deux lieues au-dessus de Meaux, sans autre accident que quelques secousses.

Une deuxième expédition fut moins heureuse. Tombés, la seconde fois, près de Nieubourg, blessés pour la plupart, sauvés, grâce au sang-froid et à l'intrépidité de deux d'entre eux, Louis et Jules Godard, transportés à Hanovre où, pour nous servir d'une de leurs expressions, ils retrouvèrent la France dans la personne du docteur Müller, les passagers du *Géant* furent l'objet de la plus vive sollicitude. Partout on s'informait de leur état, tandis que la population de Hanovre s'empressait autour d'eux. Le roi lui-même étendit sa bienveillance jusqu'à ces nouveaux sujets qui lui tombaient du ciel [1].

Par convenance et par sympathie, on suspendit toute critique. Mais l'équipage est aujourd'hui sur pied, guéri ou en voie de guérison, les discussions, un moment interrompues, recommencent : on dit que l'auteur du *Manifeste de l'automotion aérienne* a été inconséquent ; on prétend qu'il s'est laissé prendre en flagrant délit de contradiction, lui qui, après s'être prononcé si ouvertement contre les ballons, s'est élancé dans la nacelle d'un aérostat. — Les apparences, il faut bien l'avouer, ne sont pas favorables à M. Nadar ; montrons cependant, tout en réservant la question

[1] D'intéressants récits de cette deuxième expédition ont été adressés à *la Nation* par M. d'Arnoult, et reproduits par presque tous les journaux quotidiens.

théorique engagée dans le débat, que le *prévenu* n'est pas coupable du crime qu'on lui impute.

Tout le procès se ramène à un dilemme : ou le ballon-géant est muni d'un appareil locomoteur, ou il en est dépourvu. Dans la première hypothèse, toute défense est inutile ; la contradiction est évidente : M. Nadar a démenti ses préceptes par ses actes. Dans le cas contraire, si le *Géant*, à part ses proportions, est un aérostat réduit à sa plus simple expression, l'accusation tombe d'elle-même. — C'est, en effet, ce qui a lieu : une enveloppe gonflée de gaz ; une soupape, pour effectuer la descente ; une nacelle suspendue à des cordages, tels sont les organes essentiels du ballon. On a écarté, à dessein, toute disposition particulière pouvant faire croire à une tentative de direction ; on a poussé la précaution, sous ce rapport, jusqu'à supprimer le *ballonneau-compensateur* que M. Louis Godard avait imaginé pour recevoir et conserver l'excédant de gaz produit par la dilatation. — Il n'y a donc de contradictions que dans la forme et d'incertitudes que relativement à l'opportunité de l'expédition. A quoi bon ces ascensions renouvelées des exhibitions de l'hippodrome ? Laissons M. Nadar expliquer lui-même le secret de sa combinaison :

« J'ai la foi profonde, dit-il, que l'hélice sera notre moteur aérien ; mais, dans l'ordre des choses humaines, toute conquête sur l'inconnu s'achète et se paye. Si je m'étais avisé d'aller tendre la main au public pour lui demander un petit million, afin d'essayer de faire *peut-être* une machine qui *tâchera* de voler en l'air, le public n'aurait pas manqué de pousser des cris affreux ; et ceux qui ne veulent pas regarder, ceux qui ne savent pas voir, ceux qui tiennent avant tout à leurs écus, se seraient écriés en chœur : « Cet homme est un fou ! » Je me suis donc dit que je donnerais moi-même le premier million nécessaire à ma chère hélice. Et, comme je n'avais pas précisément sous la main ce million-là, je résolus de me le procurer au moyen d'un spectacle d'un intérêt toujours irrésistible. Je ferai un ballon, me suis-je dit, le *dernier ballon*, dans des proportions extraordinairement gigantesques, vingt fois plus grand que les plus grands, qui réalisera ce qui n'a jamais été qu'un rêve dans les journaux américains, qui attirera, en France, en Angleterre, en Amérique, la foule toujours prête à accourir à la plus insignifiante ascension... Je tâcherai de fournir moi-même les fonds indispensables à la con-

struction de mon ballon, et, par des ascensions publiques et des expositions successives à Paris, Londres, Bruxelles, Vienne, Berlin, Bade, New-York, etc., etc., partout enfin; je réunirai l'argent nécessaire à la réalisation de notre première aéromotive. — Le ballon n'est donc que le prologue; la vraie pièce est l'aéromotive, qui supprime tout ballon. »

Tel est le mot de l'énigme : les jours du *Géant* sont comptés. A la fin du siècle dernier, lorsqu'il fut question de construire le premier véhicule à gaz hydrogène, et de tenter, à ballon perdu, des observations dans l'atmosphère, le professeur Charles n'hésita pas à ouvrir une souscription publique. De nos jours, pour recueillir les fonds destinés au premier hélicoptère, on offre un spectacle aux populations, et, les frais prélevés, on met les recettes en réserve. Le procédé diffère; le but est analogue.

Malgré l'attirail de thermomètres, de baromètres, d'hygromètres, de boussoles, de polariscopes, etc., etc., emportés à bord du ballon, les dernières ascensions n'ont donné lieu à aucune observation importante. Conclure de là que les savants sont autorisés à rester indifférents à ce genre d'expédition serait une faute : toute ascension peut être l'occasion d'une découverte. Qu'il nous soit permis, à ce sujet, de puiser, dans les leçons du passé, un enseignement pour l'avenir.

Un physicien nommé Robertson, dont le cabinet de fantasmagorie attira tout Paris sous l'Empire et sous la Restauration, avait annoncé, en 1803, à la suite d'une ascension effectuée à Hambourg, qu'à une grande hauteur (il parlait de plus de 4,000 mètres), on observait un affaiblissement notable dans le magnétisme terrestre : l'aiguille aimantée oscillait mollement : le verre, le soufre et la cire avaient peine à s'électriser par le frottement; la pile elle-même perdait une partie de sa puissance. Robertson affirmait de plus qu'on ne recueille, dans les hautes régions de l'atmosphère, que de l'électricité vitrée. Un professeur moscovite, Saccharoff, prêtait à ces assertions l'appui de son autorité et de sa propre expérience. — On se mit en quête d'explications.

Qui sait où nous en serions encore, si Biot et Gay-Lussac n'avaient pas pris le parti de recourir au moyen le plus direct et le plus sûr pour trancher la difficulté. En 1804, tandis que les savants s'évertuaient, sur la terre, à trouver, au bout de leur plume, la raison des phénomènes observés dans les airs, Biot et Gay-

Lussac prenaient la route des nuages et répétaient les expériences signées par Robertson et certifiées par Saccharoff. On sait quel fut le résultat de leur ascension. Ils découvrirent... que le verre, le soufre et la cire s'électrisent aussi bien dans les hautes régions que sur la terre; que la pile agit avec la même énergie et que les oscillations de l'aiguille aimantée n'éprouvent aucune modification. Bien plus, ils recueillirent des quantités assez grandes d'électricité résineuse. Le démenti était complet[1].

Mais c'est bien peu, si l'aérostation n'a servi qu'à corriger les erreurs dues à l'aérostation. — Biot et Gay-Lussac ne se tinrent pas pour satisfaits parce qu'ils avaient rectifié quelques déclarations inexactes; de leur expédition, ils rapportèrent autre chose que des corrections : ils annoncèrent qu'il résultait de leurs observations personnelles que la sécheresse croît avec l'élévation et que la température, au contraire, décroît, non pas d'une manière irrégulière, mais suivant une loi déterminée. Plus tard, Gay-Lussac recueillit, vers le point culminant de sa course, une certaine quantité d'air dans laquelle une analyse délicate ne découvrit aucun élément nouveau. Sur le continent américain, Humboldt arriva aux mêmes conclusions.

Il y a treize ans, MM. Barral et Bixio se sont assigné la tâche périlleuse d'aller étudier sur place les faits, encore incertains, affirmés par Biot, Gay-Lussac et Humboldt. Dans une première ascension, qui, par suite d'accidents, ne dura que trois quarts d'heure, ils obtinrent des résultats conformes à ceux de leurs devanciers. Dans une seconde expédition, à 7,000 mètres de hauteur, la loi de décroissance de la température se trouva en défaut : les thermomètres marquèrent 39°. Il est vrai de dire que les aéronautes avaient eu à traverser une couche nuageuse d'une lieue et quart d'épaisseur, ce qui changeait les conditions normales. Cette circonstance imprévue leur permit de constater *de visu* qu'à cette température les nuages prennent une constitution particulière : ils se chargent d'une multitude de petites aiguilles de glace, aux

[1] Les erreurs de Robertson trouvent leur explication et leur excuse dans le passage suivant de la relation qu'il nous a laissée :

« .....Le baromètre était à 12 pouces $\frac{4}{100}$; à peine pouvions-nous respirer... M. Lhoest et moi cherchions à nous défendre d'un assoupissement que nous redoutions comme la mort... C'est dans cet état, peu propre à des expériences délicates, que je dus commencer mes observations,

arêtes vives et aux facettes polies. « Ces aiguilles étaient si abondantes qu'elles tombaient, comme un sable fin, sur le calepin des observateurs[1]. » Ce n'est pas tout, ils constatèrent que, contrairement à l'opinion d'Arago, la lumière des nuages n'est pas polarisée.

La météorologie n'est pas encore assez riche pour faire fi du secours que lui prête l'aérostation. Que savons-nous, par exemple, sur les courants atmosphériques? Franklin pensait qu'il existe deux grands courants dans l'atmosphère : l'un, d'air froid, voyageant, dans les régions inférieures, des pôles à l'équateur ; l'autre, d'air chaud, allant, au contraire, de l'équateur au pôle. La découverte de ces fleuves d'air ne serait-elle pas un fait immense pour la science en général et pour la navigation aérienne en particulier?

Pareillement la micrographie atmosphérique n'en est encore qu'à ses premiers débuts. A l'une des dernières séances de l'Académie des sciences, M. Pouchet, l'ardent défenseur de la théorie des générations spontanées, racontait que, considérant quelques centimètres d'air provenant des sommets du mont Blanc et du mont Rose, il avait assisté à la création de monades et de vibrions. « Les expériences sur l'air de quelques points culminants des Alpes, disait-il, démontrent que, quel que soit le lieu ou l'altitude d'où provient celui-ci, constamment il est apte à produire des animalcules vivants, ce que viennent encore de prouver les dernières expériences entreprises sur la Maladetta par MM. Joly, Musset et moi. — Cependant, dans toutes ces altitudes considérables, comme je le montrerai par de nouvelles observations, on reconnaît que l'air est presque totalement dépouillé de corpuscules organiques. Son étude et l'examen de la neige le démontrent évidemment ; on n'y découvre ni œufs ni spores[2]. »

Tout n'est pas dit pour ou contre cette théorie[3].

Passerai-je sous silence les services que l'aérostation a rendus à l'art militaire? Nos pères se souviennent de cette compagnie d'*aérostiers* instituée par le comité de Salut public, sur le rapport de Guyton de Morveau et de Monge. Elle fit ses premières

[1] Feuilleton scientifique du *Journal des Débats*, par M. Léon Foucault (juillet 1850).
[2] *Comptes rendus* (9 novembre 1863).
[3] Voyez dans l'*Annuaire de* 1862. *Les fermentations*, travaux de M. Pasteur.

manœuvres dans le parc de Meudon, l'an II de la république. Le ballon *l'Entreprenant* figure au siége défensif de Maubeuge et au siége offensif de Charleroi. A la bataille de Fleurus, il inquiète pendant neuf heures les bataillons ennemis, et contribue, c'est le général Jourdan qui l'atteste, à la victoire de l'armée de Sambre et Meuse. A Mayence, le capitaine Coutelle, du haut de son observatoire aérien, pénètre les secrets de l'assiégé, ses points faibles, ses réserves et ses batteries masquées. — Hier encore, en Crimée et en Italie, une compagnie d'aérostiers, planant au-dessus de l'ennemi, nous dénonçait ses mouvements et nous préparait la victoire.

Chose digne de remarque, il n'est peut-être pas une ascension aérostatique qui n'ait payé son tribut à la science. Citons-en une preuve entre mille, et prenons-la parmi les voyages les moins sérieux. Qui ne se souvient des cavalcades aériennes de M. Poitevin? Elles n'avaient assurément aucune prétention scientifique, et pourtant les savants n'ont pas dédaigné d'enregistrer les récits du modeste écuyer. Testu-Brissy avait dit, en 1785, que le sang des animaux de grande taille s'échappe de leurs oreilles et de leurs narines dans des régions relativement assez basses. Plus d'une fois M. Poitevin contrôla le fait dans ses expéditions équestres.

On le voit, toute ascension aérostatique a son intérêt. Au lieu de rire des excursions du *Géant*, que le physicien, que le chimiste, que le médecin cherche à y prendre part. Nous parlera-t-on des périls de ces ascensions? « Malgré les exemples funestes de Pilastre des Rosiers, de Zambeccari et de plusieurs autres, disait Biot, on peut être assuré qu'en observant soigneusement un petit nombre de précautions, les voyages aérostatiques n'offrent plus absolument aucun danger[1]. » Sans aller aussi loin que Biot, dont le nom cependant fait autorité en pareille matière, nous dirons qu'ils ne sont pas aussi périlleux qu'on le croit généralement. Le doyen des aéronautes, M. Dupuis-Delcourt, qui a tenu registre des ascensions effectuées jusqu'à ce jour, n'a pas vingt morts à signaler. Mais à quoi bon ces chiffres? Pour la conquête d'une loi le savant sait exposer sa vie, comme le soldat pour le gain d'une bataille. Quoi qu'on ait fait, la météorologie est pauvre; honneur à qui tentera de l'enrichir!

[1] *Traité de physique expérimentale et mathémathique*, par J. B. Biot. Paris, Deterville, 1816.

II

Un mot sur l'invention des aérostats. — Premières ascensions. — L'Académie de Dijon. — Le bateau volant de Blanchard. — Le chapelet aérien. — Ascension du duc de Chartres. — La direction des ballons. — Principaux modèles proposés. — Examen rapide de la question.

Les deux Montgolfier, revenant par miracle au milieu de nous, prendraient-ils parti pour l'hélice contre les ballons? Il est permis d'en douter. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'à l'époque de la découverte des aérostats ils regardaient toutes les combinaisons de forces et de leviers comme frappées de stérilité. Persuadés, par les essais infructueux de leurs devanciers, que la mécanique n'enfanterait jamais qu'une machine impuissante, ils tournèrent d'un autre côté leurs travaux et leurs espérances. Ayant médité sur l'ascension des vapeurs dans l'atmosphère, et considérant ces masses énormes de nuages qui voyagent au gré des vents, ils entrevirent la possibilité d'imiter en petit ces grandes opérations de la nature. C'est ainsi qu'ils furent amenés à l'idée de gonfler de vapeur d'eau une enveloppe légère. Malheureusement, au bout d'un temps très-court, la vapeur se liquéfiait et l'appareil retombait lourdement, comme un oiseau dont on brise les ailes. Ils ne réussirent pas beaucoup mieux, dans le principe, avec un globe gonflé d'air chaud et de fumée [1].

Entrevu au seizième siècle par l'alchimiste Paracelse, recueilli au dix-septième par le savant et sage Robert Boyle, l'air inflammable, c'est-à-dire l'hydrogène, venait d'être isolé par Cavendish. Une traduction française des *Expériences touchant les différentes espèces d'air*, par Priestley, tomba, à Montpellier, entre les mains d'Étienne de Montgolfier. Ce fut pour lui un trait de lumière.

[1] La pensée de recourir à l'air chaud et à la fumée est due à une circonstance assez singulière que Brisson rapporte dans son *Dictionnaire raisonné de physique*. « Je ne fais que répéter, dit-il, ce que le citoyen Montgolfier m'a affirmé lui-même lorsqu'il est venu à Paris annoncer sa découverte. La citoyenne Montgolfier, ayant placé un jupon sur un de ces paniers d'osier à claire-voie dont les femmes font usage pour sécher leur linge, le jupon fut élevé jusqu'au planclier. C'est de ce fait que sont partis les citoyens Montgolfier. »

Je conçus dès lors, dit-il, la possibilité de naviguer dans l'air [1]; et il construisit des ballons à gaz inflammable.

Toutefois ses premiers essais lui donnèrent de si médiocres résultats qu'il revint à l'idée d'utiliser la vapeur et la fumée. Il avait remarqué que la combustion d'un mélange de paille légèrement mouillée et de laine donne des gaz qui possèdent des propriétés alcalines; il attribua à ces vapeurs un certain état électrique analogue à celui des nuages et doué d'une vertu ascensionnelle [2]. Le jeudi 5 juin 1783, une expérience publique fut faite à Annonay : un ballon ayant 110 pieds de circonférence et pesant environ 500 livres s'éleva à 1,000 toises de hauteur.

L'expérience d'Annonay fit grand bruit. Paris voulut avoir la sienne. Le 27 août, un ballon gonflé, sous les yeux du professeur Charles, non plus d'air chaud et de fumée, mais de gaz inflammable, partit du Champ de Mars. Trois semaines plus tard, le 19 septembre, les frères Montgolfier lançaient, dans la grande cour du château de Versailles, en présence du roi Louis XVI, un deuxième ballon à feu.

Le succès de ces expériences enhardit les frères Montgolfier : ils résolurent de construire un véhicule aérien et installèrent leurs ateliers dans les jardins de Réveillon, rue de Montreuil. C'est là que, du 15 au 18 octobre, Pilastre des Roziers préluda, dans un ballon captif, à l'ascension qu'il allait entreprendre, le 21, au château de la Muette, avec le marquis d'Arlandes. — L'exemple est donné : le 1er décembre, un aérostat de 26 pieds de diamètre, gonflé d'air inflammable, muni d'une soupape de sûreté, d'un filet, d'une nacelle, de lest et d'instruments d'observations de toutes sortes, emporte Charles et Robert jusqu'à Nesles, à 9 lieues de leur point de départ. L'art de l'aérostation est créé. Quatorze ans encore, et Garnerin le complétera par l'addition d'un appareil de sauvetage, le parachute.

Le troisième voyage aérien eut lieu à Lyon. Le 19 septembre 1784, *le Flesselles* partit des Brotteaux avec sept voyageurs, au nombre desquels on comptait Joseph de Montgolfier, Pilastre des Roziers et le prince de Ligne. — A quelques semaines de là, le

[1] Discours à l'Académie de Lyon.

[2] De Saussure démontra bientôt que l'ascension des Montgolfiers est un effet de la raréfaction de l'air occasionnée par la chaleur et que la fumée est plutôt nuisible qu'utile.

25 février, le chevalier Andreani et les deux frères Ger li donnaient à Milan le spectacle d'une quatrième ascension.

« A peine ces expériences eurent-elles prouvé que l'on pouvait élever et soutenir dans l'air des machines capables de porter des hommes, que, sans s'arrêter à des objets d'utilité assez nombreux et plus prochains, tout le monde parut s'occuper uniquement de la question de savoir si on parviendrait à les diriger. Plusieurs en conçurent l'espérance. L'ambition de frapper le premier au but fit entrer dans la lice tous ceux qui crurent saisir quelques-uns des secrets de l'art maritime, du vol des oiseaux, de la natation des poissons, etc. On vit éclore une foule de projets, la plupart fondés sur de simples aperçus, même sans estime approchée des forces motrices, des résistances, ni des poids des machines. D'autres cependant prononçaient hardiment que cette entreprise excédait les forces humaines. Ces derniers ont regretté sans doute d'avoir porté un jugement aussi prématuré, lorsqu'ils ont entendu l'Académie royale des sciences répéter, avec les commissaires, que tout semblait en annoncer la possibilité[1]. »

Le 11 décembre 1783, Guyton de Morveau présenta à l'Académie des sciences de Paris un projet et des plans qu'il fit parafer, séance tenante, afin de prendre date. Le 25 avril suivant, il montait, accompagné de l'abbé Bertrand, dans la gondole d'une machine aérostatique, qui, sans prétendre marcher à tout vent et malgré les tempêtes pouvait être assez bien dirigée, disait-on, pour entreprendre un voyage de long cours. L'appareil de direction consistait en un taille-vent, un gouvernail et deux rames. C'est une des premières machines proposées pour résoudre le problème de la direction des aérostats. — Presque à la même époque, Blanchard, qui, depuis plusieurs années, travaillait, dans les jardins de la rue Taranne, à la construction d'un *bateau volant*, avait appliqué rames et agrès à la nacelle d'un ballon à gaz.

L'aérostation vient d'entrer dans une voie nouvelle ; c'est à qui trouvera la solution du problème de la direction des ballons. Les savants les plus illustres descendent dans l'arène et se mêlent à la

[1] *Description de l'aérostate adressée à l'Académie de Dijon*, contenant le détail des procédés, la théorie des opérations, les dessins des machines, les procès-verbaux d'expériences, etc., etc , par Guyton de Morveau. Dijon, Causse, 1784.

foule des inventeurs. Monge, lui-même, a un plan qu'il médite. Faut-il rappeler ici le projet qu'on eut un instant de créer une flottille aérienne, composée de vingt ballons placés les uns à côté des autres, comme les grains d'un chapelet? On prétendait que ce monstre volant pourrait se développer, se replier sur lui-même, décrire des sinuosités, et, reptile aérien, s'avancer dans l'air à la manière du serpent.

Ne nous arrêtons pas davantage aux expéditions dans lesquelles on ne voit aucune tentative de direction. Telles sont les ascensions de madame Thible, à Lyon, et de Proust et Pilastre des Roziers, à Versailles. Chaque ville eut ses aéronautes : Rodez, l'abbé Camus ; Aix, Rambaud ; Nantes, Constard de Massy, le P. Mouchet de l'Oratoire, et M. de Luynes ; Bordeaux, Chaffour et d'Arbelet des Granges ; Marseille, Brémont et Maret. Les plus grands noms termineraient cette liste, si nous n'avions hâte de revenir aux appareils munis d'organes de direction. Tel esquif, monté aux frais du roi, emporta un jour dans les airs mademoiselle Lagarde, la comtesse de Podenas et la marquise de Montalembert, le marquis était le capitaine de l'expédition.

Le 15 juillet 1784, le duc de Chartres s'élève, à Saint-Cloud, avec les frères Robert, dans la nacelle d'un aérostat construit d'après les idées de Meusnier ; le ballon avait 54 pieds de hauteur et 36 de diamètre ; il était gonflé d'hydrogène. A l'intérieur il contenait un globe rempli d'air comprimé. Grâce à cette disposition, les aéronautes pouvaient se passer de lest et de soupape : pour monter, ils donnaient issue à l'air comprimé ; pour descendre, ils emprisonnaient une nouvelle quantité d'air dans le globe intérieur, au moyen d'une pompe foulante. Un gouvernail et des rames étaient adaptés à la nacelle : on fondait, sur cet aérostat, les plus belles espérances ; mais, dans la région des nuages, le vent devint si violent qu'il fallut briser le gouvernail et jeter les rames. La descente, après mille dangers, s'effectua dans le parc de Meudon.

Ce fut également dans une nacelle à rames et à gouvernail que Blanchard et Jefferies traversèrent la Manche, au commencement de l'année suivante. Le 7 janvier 1785, ils s'embarquaient à Douvres dans la matinée ; vers le milieu du jour, au-dessus de la pleine mer, ils se débarrassaient, en toute hâte, de leurs appareils de direction que le vent menaçait de transformer en instru-

ments de supplice. Grâce à cette précaution, ils descendirent sains et saufs aux environs de Calais[1].

A la veille de la Révolution française, le baron Scott de Martinville esquisse le plan d'un nouveau genre d'aérostat ; son ballon, en forme de poisson, devait être muni d'une vessie natatoire. Le baron Scott annonçait une révolution dans l'art de l'aérostation. Les événements politiques interrompirent ses travaux.

A dater de ce moment, l'aéronautique est en stagnation : on répète d'anciennes expériences ; on applique les aérostats à l'art militaire ; on fait des ascensions scientifiques ; la météorologie progresse, mais la navigation aérienne reste stationnaire. Les choses en sont là, lorsque les encouragements accordés à Pauly, par le maréchal Ney, paraissent tirer l'aérostation de son état de langueur. L'inventeur montre au maréchal les dessins d'une machine analogue à celle du baron Scott ; cent mille francs sont accordés. Pauly se met à l'œuvre ; mais des obstacles imprévus l'arrêtent ; sa *baleine aérienne* n'est prête que longtemps plus tard : elle donne, à Londres, le spectacle de son impuissance. — Quatre ans auparavant, en 1812, un horloger de Vienne, Jacob Deghen, qui prétendait diriger un ballon au moyen d'ailes mues par des ressorts, avait été plus malheureux encore : après un insuccès au Champ de Mars, il avait été hué et battu par la populace.

De tels procédés n'étaient pas faits pour exciter, chez les inventeurs, l'esprit de recherches ; aussi, jusqu'en 1824, la locomotion aérienne reste-t-elle en défaveur. L'aérostation ne semble bonne qu'aux divertissements de la foule ; elle est reléguée dans les jardins publics. — Sautons, à pieds joints, par-dessus cette période sans intérêt pour nous et arrivons à l'époque où le mémoire de M. Dupuis-Delcourt, sur l'aérostation, va relever le courage des inventeurs.

[1] Pilastre des Roziers et Romain payèrent de leur vie une deuxième tentative. Ils avaient eu la funeste idée de se servir d'une mongolfière reliée à un ballon gonflé d'hydrogène, « un fourneau sous un magasin à poudre, » suivant l'expression de Biot (*Traité de physique expérimentale et mathématique*) ; le feu prit à leur appareil et ils trouvèrent la mort sur les falaises de Boulogne. — En 1836, M. Green a de nouveau traversé la Manche. Parti de Londres, il est allé descendre, sans accident, dans le duché de Nassau, à deux cents lieues environ de son point de départ.

« Trompé, disait-il, par des expériences annoncées avec emphase ou étayées de calculs qui n'en auraient point imposé si l'on eût pris le soin de les vérifier avant d'asseoir un jugement, on a relégué la direction des aérostats dans le chapitre des sciences imaginaires, avec la pierre philosophale, la quadrature du cercle, le mouvement perpétuel, etc., etc., et, au lieu de se livrer à des recherches difficultueuses, il est vrai, mais nécessaires pour prononcer avec plus de certitude, on a trouvé plus facile de s'en rapporter aux autres et de répéter après eux qu'il est impossible de diriger les ballons. S'il est une chose impossible, dans cette question, c'est de prouver qu'on ne pourra jamais les diriger. Ainsi l'ont pensé toutes les académies qui ont proposé des prix pour obtenir cet important résultat [1]. »

M. Dupuis-Delcourt ne se borna pas à plaider en faveur de la direction des aérostats; il prêcha d'exemple. Au moment où il publiait le mémoire dont nous venons de citer un fragment, il disposait une expérience préparatoire qu'il devait faire suivre d'un voyage aérien d'une assez longue durée, afin de vérifier par des essais pratiques, faits au sein même de l'air, que ses spéculations théoriques ne l'avaient point trompé. Il annonçait qu'il essayerait d'appliquer un moyen nouveau pour monter et descendre à volonté, sans lest et sans soupape.

La machine aérienne de M. Delcourt se composait d'un aérostat allongé auquel était suspendu un plancher en bois léger. Sur ce plancher était une machine qui, par l'intermédiaire d'un arbre et d'une manivelle, imprimait un mouvement de rotation à une hélice destinée à entraîner horizontalement tout l'appareil. L'ascension et la descente s'effectuaient, non plus en jetant du lest ou en perdant du gaz, mais en disposant avec art d'un châssis mobile, recouvert d'une toile résistante, et placé entre le pont du navire et l'aérostat. En dépliant horizontalement le châssis, à l'arrière du navire, on imprimait à l'appareil un mouvement d'ascension; au contraire, en déployant le châssis à l'avant, on créait une résistance de ce côté, et l'on provoquait la descente. — Des expériences très-intéressantes eurent lieu à Mont-Jean, près de Paris.

En 1834, une machine aérostatique moins bien combinée, celle

[1] *Mémoire sur l'aérostation et la direction des ballons*, par M. Dupuis-Delcourt. Paris, Ponthieu, 1824.

de M. de Lennox, parvint à peine à se soutenir ; le ballon, son gouvernail et ses rames tournantes furent mis en pièces par la populace. L'aérostat ovoïde de M. Eubriot n'eut pas un meilleur sort.

C'est quelques années plus tard que M. Transon, qui étudiait la question des ballons captifs[1], exposa, pour diriger les ballons libres, une méthode nouvelle. Dans son projet, il cherche à tirer parti des forces extérieures au navire aérien et à la couche d'air dans laquelle celui-ci est plongé. Son aéronef se compose de deux *ballons conjugués*, dont la force ascensionnelle est inégale : l'un s'élève dans les hautes régions, tandis qu'on arrête l'autre dans une région inférieure et plus calme. On arrive ainsi à établir une certaine similitude entre l'aéronautique et la navigation maritime à voiles, car le ballon supérieur trouve un appui dans le ballon inférieur, comme le vaisseau en trouve un dans l'eau, pour résister aux vents contraires. « Ainsi qu'un navire à voiles, dit M. Transon, reçoit les conditions de son allure des deux milieux dans lesquels il est à la fois plongé, trouvant dans l'eau son soutien et, dans l'air, son véhicule; ainsi le ballon inférieur de l'aéronef sera soutenu par l'air qui l'entoure, en même temps qu'entraîné par le courant supérieur, le second ballon étant comme la voile du premier. » Il y aura peut-être quelque chose à tirer de cette ingénieuse combinaison, quand nous connaîtrons mieux les lois auxquelles obéissent les courants atmosphériques.

Ce rapprochement entre l'aéronautique et la navigation maritime à voiles nous rappelle le bateau aérien décrit, en 1670, par le P. Lana, de la Compagnie de Jésus. — Les principaux agents de sa machine aérostatique consistaient en une nacelle armée d'un mât et d'une voile. Quatre sphères ou globes en cuivre, privés d'air et ayant $\frac{1}{68}$ de ligne d'épaisseur, étaient chargés de supporter la nacelle au moyen de câbles. « Je ne vois, dit le P. Lana, aucune difficulté qui puisse s'opposer à la réussite de mon invention, si ce n'est celle-ci qui me semble l'emporter sur toutes les autres : Dieu

[1] La question des ballons captifs vient d'être remise à l'ordre du jour. Sous ce titre : *Chemins aériens*, M. Jules Séguin vient de publier un projet de locomotion aérienne entre la place de la Concorde et le bois de Boulogne, au moyen d'un ballon captif. Dans ce système, l'aérostat serait remorqué au moyen d'un câble d'acier reposant, à une certaine hauteur, sur une série de poulies. La traction serait exercée par une machine à vapeur.

ne permettra peut-être jamais qu'une telle machine puisse réussir en pratique, afin d'empêcher plusieurs conséquences qui porteraient la perturbation au milieu des sociétés humaines. Quel est celui qui ne voit qu'aucune ville ne serait désormais à l'abri des surprises, puisque l'on pourrait, à chaque instant, diriger le navire tout droit au-dessus de la place et y mettre pied à terre avec ses compagnons [1] ? »

Le P. Galien, en 1755, décrivit, de son côté, un vaisseau « destiné à naviger dans l'air et à transporter au besoin une armée avec tous ses appareils de guerre et ses provisions de bouche jusqu'au milieu de l'Afrique ou dans d'aultres païs non moins inconnus. Ce vaisseau, disait-il, seroit plus long et plus large que la ville d'Avignon, et sa hauteur ressembleroit à celle d'une montagne bien considérable. Il navigeroit dans la région de la grêle. Pour y parvenir, ajoutait-il, il suffira d'élever les bords de 83 toises, car alors le vaisseau se remplira, dans la région supérieure, d'un air moitié plus léger que celui de la région de la grêle, sur lequel il glissera, pour ainsi dire, comme un bateau glisse sur l'eau. Au reste, cette navigation ne seroit pas si dangereuse que l'on pourroit se l'imaginer. Peut-être le seroit-elle moins que celle de la mer. Dans celle-ci tout est perdu lorsque le vaisseau vient à couler à fond; au lieu que, le cas arrivant dans celle-là, on se trouverait doucement mis à terre, au grand contentement de ceux qui seroient ennuyés de voguer entre le ciel et la terre, et qui aimeraient mieux venir nous raconter ce qu'ils auraient vu se passer dans ce haut pays des nues que de continuer leur route [2]. » Le bateau volant de Lana, condamné à l'impuissance par Leibnitz, à cause de

[1] Altre difficoltà non vedo che si possano opporre a questa invenzione, toltane una che mi sembra maggiore di tutte le altre, ed è che Dio non sia per mai permettere che una tale macchina sia per riuscire nella pratica, per impedire molte conseguenze che perturberebbero il governo civile degli uomini. Imperocchè, chi non vede che niuna città sarebbe sicura dalle sorprese, potendosi ad ogni ora portar la nave a dirittura sopra la piazza e lasciatala calare a terra, discender la gente? — *Prodromo, ovvero Saggio di alcune invenzioni nuove permesso all' Arte Maestra*, opera che prepara il Padre Francesco Lana, della Compagnia di Gesù. Brescia, 1670. In foglio.

[2] *L'Art de naviger dans les airs*, amusement physique et géométrique, précédé d'un mémoire sur la nature et la formation de la grêle, par le P. Joseph Galien, ancien professeur de philosophie et de théologie dans l'université d'Avignon. — Avignon, chez le libraire Fez, 1755.

la ténuité de son enveloppe, pourrait bien avoir été le premier germe d'où sont sortis les aérostats. Pareillement le vaisseau gigantesque du P. Galien, descendant doucement vers la terre, par suite de la résistance que l'air lui oppose, nous paraît une précoce et fantastique conception du parachute.

Mais revenons à l'histoire contemporaine de l'aéronautique.

En 1850, M. Pétin annonce qu'il vient d'exposer, dans les chantiers de la rue Marbœuf, un aéronef de grande dimension. Le pont du navire est formé par un assemblage de charpente suspendu à trois ballons gonflés d'hydrogène. Quatre hélices, placées, deux à la proue, deux à la poupe, et mues par deux machines à vapeur de la force de trois chevaux chacune, impriment le mouvement de progression. Des voiles convenablement disposées permettent de louvoyer au besoin. Seize châssis mobiles autour d'axes transversaux facilitent la manœuvre du bâtiment : quatre sont fixés à l'avant, quatre à l'arrière ; les huit autres sont disposés au milieu, sur deux rangées, à droite et à gauche de la galerie des voyageurs. Ces derniers châssis forment le centre de résistance du navire ; suivant leur position, ils servent de toits culminants ou de toits renversés, créant ainsi des points d'appui sur les couches inférieures ou sur les couches supérieures de l'atmosphère. Les châssis de la poupe et ceux de la proue servent à l'ascension ou à la descente du vaisseau. Ouverts à l'avant et fermés à l'arrière, ils occasionnent une rupture d'équilibre ; la proue rencontre une résistance qui n'existe pas à la poupe ; il y a ascension. Dans l'hypothèse contraire, l'énorme balance penche vers la terre. — On improvisait de la sorte des plans inclinés sur lesquels eût glissé le navire.

L'appareil de M. Petin opposait à l'air une résistance trop considérable et manquait de solidité dans son ensemble. Repoussé du Champ de Mars, il alla chercher fortune en Angleterre, puis disparut de la scène européenne. On apprit plus tard qu'il avait sombré dans les vagues de l'atmosphère américaine.

En 1852, M. Giffard applique la vapeur à la direction des aérostats : « Je n'ai pas un seul instant songé, dit-il dans le récit de son ascension, à lutter contre le vent ; la force de la machine ne l'eût pas permis ; cela était prévu d'avance et démontré par le calcul. Mais j'ai opéré, avec le plus grand succès, diverses manœu-

vres de mouvement circulaire et de déviation latérale. L'action du gouvernail se faisait parfaitement sentir. » Une nouvelle ascension eut lieu en 1854. — Les résultats obtenus par M. Giffard ont, à nos yeux, une grande importance; ils seront présents à notre mémoire, lorsque nous chercherons à apprécier l'avenir de l'aérostation.

Que d'appareils nous aurions encore à décrire, si notre but était de dresser une liste complète des moyens proposés ou tentés pour naviguer dans les airs à l'aide des aérostats! Nous arrêterons ici cette énumération déjà longue de reptiles aériens, de baleines et de poissons volants, d'ovoïdes, de navires, de flottilles, etc., etc., esclaves indociles qui n'ont opposé aux caprices de l'air qu'une impuissante révolte. Nous passerons sous silence les essais de MM. Vaussin-Chardanne, Julien, Vert, Sanson et cent autres; nous esquisserons seulement à la hâte un système dont on a beaucoup parlé dans ces derniers temps, celui de M. Carmieu, de Luze.

L'aérostat de M. Carmieu est un cylindre terminé par un cône à l'une de ses extrémités. Dans ce cylindre se trouve un petit ballon, sorte de vessie natatoire communiquant avec l'air extérieur et prévenant les effets de la dilatation du gaz. Un arbre métallique traverse l'aérostat dans le sens de la longueur. Plusieurs cercles en bois, disposés de distance en distance et reliés par des cordes à l'arbre longitudinal, forment une charpente à la fois solide et légère. A ses deux extrémités, l'arbre est terminé par des pivots auxquels sont suspendus deux coussinets qui maintiennent la nacelle.

« Au milieu de la longueur de l'aérostat, dit l'inventeur, sur le cercle intérieur, sont attachés par la base plusieurs châssis recouverts de toile. Le nombre de ces châssis varie selon la circonférence de l'aérostat. Ils sont inclinés, sur la ligne équatoriale de 15° à 20°, selon la vitesse qu'on veut déployer. Des haubans les tiennent debout, dans leurs positions respectives. Tout cela réuni, assemblé, ne forme plus qu'une hélice solide dont le corps ovoïde de l'aérostat tient lieu d'arbre de couche. »

On communique à l'arbre central un mouvement de rotation; le ballon tout entier, tournant très-librement sur son axe dans ses coussinets, participe à ce mouvement et se visse dans l'air, tandis qu'un gouvernail dirige la course de l'appareil.

Ce système, dans lequel on retrouve une application des idées

de Meusnier, et qu'on a tout à la fois trop vanté et trop décrié, est une espèce de compromis entre l'aérostat et l'hélice.

Malgré tous ces essais, dont plusieurs indiquent une étude sérieuse de la question et un esprit de combinaison vraiment remarquable, le problème de la locomotion aérienne demeure encore sans solution. C'est que jamais question plus ardue n'a été proposée au génie de l'homme. A mesure que l'on examine le problème de plus près, les inconnues se multiplient et nécessitent la recherche de nouvelles données. Que d'éléments dont il faut tenir compte! C'est la quantité d'air déplacée par le ballon; c'est celle qui résiste à la marche de l'aérostat; c'est le moyen employé comme agent mécanique; c'est la vitesse du moteur; c'est celle du courant que l'on veut vaincre; que sais-je encore? Il faut faire état des moments d'inertie, des frottements, de la forme du ballon, des points d'appui qu'il peut prendre, des dilatations et des condensations auxquelles le gaz est sujet, etc., etc.

Les conditions du problème se simplifient beaucoup lorsqu'on réduit la question à la direction des ballons dans l'air calme. Dans ce cas particulier, plusieurs des dispositions que nous avons décrites sont suffisantes. « Des appareils de ce genre, dit M. Delaunay, communiqueraient certainement au ballon un mouvement de transport. On pourrait adapter à l'aérostat des pièces analogues aux ailes des oiseaux et susceptibles de se mouvoir de la même manière. Au lieu de ces espèces de rames à larges surfaces, on pourrait encore se servir d'hélices semblables à celles que l'on adapte aux navires[1]. »

Mais, dans une masse d'air animée d'un mouvement de translation, la question se complique : La vitesse de la couche d'air et celle du ballon, par rapport à cette couche, se composent et donnent une résultante qui est la vitesse absolue de l'aérostat. Pour marcher dans une direction déterminée, il est donc nécessaire que la vitesse du ballon soit assez grande par rapport à la vitesse de l'air. Supposons, pour fixer les idées, qu'on veuille remonter un courant atmosphérique : il y aura lutte entre deux forces opposées; la résultante sera égale à leur différence et agira dans le sens de la plus grande. Par suite, l'aérostat devra être animé

[1] *Traité élémentaire de mécanique théorique et appliquée*, par M. Ch. Delaunay, ingénieur des mines. Paris, Victor Masson, 1854.

d'une vitesse plus grande que celle du courant. Ces quelques mots d'explication suffisent pour faire comprendre que, dans la plupart des cas, les appareils de propulsion mus par la main de l'homme sont impuissants. C'est dans cette conviction que M. Giffard avait tenté d'appliquer les machines à vapeur à la direction des aérostats. Malheureusement, en même temps qu'on augmente la puissance dont on dispose, on augmente aussi le chargement, ce qui nécessite un accroissement de volume de l'aérostat, et, par suite, une exagération de la résistance. Il n'y a d'ailleurs pas à songer, dans l'état actuel de nos connaissances, à profiter des moussons et des alizés qui peuvent régner dans les hautes régions de l'atmosphère.

De tout cela que faut-il conclure? Que la direction des ballons est impossible? Distinguons. Regarde-t-on les machines actuelles comme le dernier mot de la mécanique, prétention dangereuse, qui peut recevoir demain un éclatant démenti? Oui, il semble impossible de diriger les aérostats, autre part que dans une atmosphère tranquille, c'est-à-dire dans des circonstances tout à fait exceptionnelles. — Espère-t-on, au contraire, que la mécanique nous fournira, un jour, de nouvelles ressources? Qu'elle nous permettra de construire un moteur plus léger et plus puissant? Il y a lieu de croire, selon nous, au succès de la navigation aérienne, dans les limites du possible, bien entendu, c'est-à-dire à la condition de ne pas prétendre aller contre les vents violents, qui font plier le vol des oiseaux les plus vigoureux. « Nous pensons, disait Navier, que la création d'un art de la navigation aérienne est subordonnée à la découverte d'un nouveau moteur. »

Le jour où nous aurons ce moteur, la machine jointe au ballon ne sera plus, comme on l'a dit, « le mouvement associé à l'immobilité; le vaisseau amarré dont on déploie les voiles; la locomotive attelée à une cathédrale; » ce sera une résistance énorme vaincue par une force plus grande encore, Antée terrassé par Hercule.

III

La fable de Dédale. — Olivier de Malmesbury et Jean-Baptiste Dante. — Extrait du *Journal des Savants*, du 12 décembre 1678. — Le marquis de Bacqueville. — Alard. — L'abbé Desforges. — L'hélice voyageuse. — Projet de M. de Pontou d'Amécourt. — Le ptérophore de Paucton. — Conclusion.

L'impossibilité momentanée dans laquelle on est de diriger les ballons a ramené les inventeurs du côté des agents mécaniques, un peu délaissés depuis la découverte des aérostats. Les études auxquelles on se livre aujourd'hui sur l'hélice et les expériences que l'on prépare font suite aux tentatives commencées dès la plus haute antiquité, continuées jusqu'à la fin du dix-huitième siècle et brusquement interrompues par l'invention des ballons.

La fable rapporte que Dédale, statuaire célèbre et mécanicien plus célèbre encore, à qui l'on doit plusieurs instruments très-précieux, tels que la hache, la scie, le vilebrequin, les mâts des vaisseaux, les voiles, etc., etc., exilé par l'aréopage pour avoir tué Talus, son neveu et son rival, se retira dans l'île de Crète, où, sur l'ordre de Minos, il construisit le labyrinthe. — Accusé, dans la suite, d'avoir favorisé les désordres de Pasiphaé et condamné à être enfermé, avec son fils Icare, dans le labyrinthe même qu'il avait bâti, Dédale se fabriqua, dit-on, des ailes formées de cire et de plumes d'oiseaux, s'échappa, traversa les airs et arriva à Cumes, où il éleva un temple à Apollon. L'imprudent Icare, pour avoir voulu voler trop haut, avait été précipité dans la mer.

Les ailes de Dédale, dont Ovide nous a laissé la description, servirent de modèle, au quinzième siècle, à un bénédictin anglais nommé Olivier de Malmesbury. Nous en trouvons la preuve dans une communication faite à l'académie de Lyon par l'abbé Mouger en 1773[1]. L'abbé Mouger raconte qu'Olivier de Malmesbury se soutint un instant dans les airs, puis tomba au pied d'une tour et se brisa les jambes. Le même auteur cite une autre tentative faite par un certain Jean-Baptiste Dante, originaire de Pérouse, qui, à plusieurs reprises, au moyen d'un système d'ailes artificielles dont il avait le secret, traversa le lac de Trasimène. — De Dédale à Oli-

[1] *Mémoires sur le vol aérien*, par l'abbé Mouger.

vier de Malmesbury et à Jean-Baptiste Dante, il y a loin. Nous ne chercherons pas, toutefois, à combler ce vide, car, pour atteindre ce but, il faudrait puiser à des sources incertaines ou parler de projets qui n'ont aucune valeur scientifique.

Le *Journal des savants* du 12 décembre 1678 contient une pièce curieuse dont nous donnerons un extrait ; c'est une lettre dans laquelle se trouve décrite une machine à voler imaginée par un sieur Besnier, serrurier de Sablé, au pays du Maine :

« Cette machine consiste en deux bastons qui ont, à chaque bout, un chassis oblong de taffetas, lequel chassis se plie de haut en bas comme des bastons de volets brisez. — Quand on veut voler, on ajuste ces bastons sur ses épaules, en sorte qu'il y ait deux chassis devant et deux derrière. Les chassis de devant sont remuez par les mains et ceux de derrière par les pieds, en tirant une fisselle qui leur est attachée. L'ordre de mouvoir ces sortes d'ailes est tel que, quand la main droite fait baisser l'aisle droite de devant, le pied gauche fait baisser, par le moyen de la fisselle, l'aisle gauche de derrière ; et ainsi alternativement en diagonale. Ce mouvement en diagonale a semblé très-bien imaginé, parce que que c'est celui qui est naturel aux quadrupèdes et aux hommes quand ils marchent ou quand ils nagent ; et cela fait bien espérer de la réussite de la machine. On trouve néanmoins que, pour la rendre d'un plus grand usage, il y manque deux choses : la première est qu'il y faudroit adjouster quelque chose de très-léger et de grand volume, qui, estant appliqué à quelque partie du corps qu'il faudrait choisir pour cela, pust contre-balancer dans l'air le poids de l'homme, et la seconde chose à désirer seroit que l'on y ajustât une queue, car elle serviroit à soustenir et à conduire celuy qui voleroit...

« La première paire d'aisles qui est sortie des mains du sieur Besnier a été portée à la Guibré, où un baladin l'a acheptée et s'en sert fort heureusement.

« Le sieur Besnier ne prétend pas néanmoins pouvoir s'élever de terre par sa machine, ni se soutenir fort longtemps en l'air à cause du deffaut de la force et de la vitesse qui sont nécessaires pour agiter fréquemment et efficacement ces sortes d'aisles, ou, en termes de volerie, pour planer ; mais il asseure que, partant d'un lieu médiocrement élevé, il passeroit aisément une rivière

d'une largeur considérable, l'ayant déjà fait de plusieurs distances et en différentes hauteurs[1]. »

Le *Mercure hollandais* de l'année 1673 rapporte qu'un nommé Bernoin se cassa le cou malgré ses ailes, en se précipitant, à Francfort, du haut d'un édifice.

L'expérience du marquis de Bacqueville est plus connue. Le marquis se faisait fort, au moyen d'un système d'ailes de son invention, de voler de la terrasse de son hôtel, situé quai des Théatins, près de la rue des Saints-Pères, jusqu'au jardin des Tuileries. Il prit, en effet, son vol comme il l'avait promis, gagna même, sans accident, le milieu de la rivière, puis s'effraya, perdit la tête et tomba sur un bateau de blanchisseuses. Les ailes énormes dont il s'était armé amortirent heureusement sa chute : Bacqueville en fut quitte pour une jambe cassée.

Trois autres machines à voler précèdent les aérostats : celle du danseur de corde Alard, celle de l'abbé Desforges, et le bateau volant de Blanchard. — Alard s'élança, dit-on, devant Louis XIV, de la terrasse de Saint-Germain. Le bois du Vésinet devait être sa première station. On le ramassa brisé au pied de la terrasse. — A Étampes, en 1772, l'abbé Desforges équipa une gondole aérienne munie d'ailes à charnières. Il partit du sommet de la vieille tour qui commande la ville, et descendit lourdement à quelques pas de là. — Quant au bateau volant de Blanchard, nous avons vu qu'il passa, avec rames et agrès, dans le camp des aérostats.

Nous rencontrons ici dans l'histoire moderne des machines à voler une lacune de quatre-vingts ans. Les ballons font, dans le monde, leur entrée triomphale.

Nous sommes aujourd'hui dans la période de réaction : les ballons sont en défaveur ; le vent souffle du côté des engins automoteurs. M. Babinet, dont nous avons prononcé le nom au commencement de cet article, a été l'un des artisans de ce revirement. Il a prêté aux conceptions de MM. de Ponton d'Amécourt, de la Landelle et Nadar, l'autorité de sa parole ; le crédit qui s'attache au titre de membre de l'Institut de France n'a pas peu contribué à la défaite de l'aérostat et au succès de l'hélice.

[1] Extrait d'une lettre escrite à monsieur Toynard, sur une machine d'une nouvelle invention pour voler en l'air. (*Journal des sçavants*, du lundi 12 décembre 1678.)

Au milieu de ce mouvement des esprits, quelques savants, ils sont en petit nombre, sont restés conservateurs : ils ne révoquent pas en doute, ils nient absolument la possibilité de résoudre le problème de la navigation aérienne par l'hélice ; ils taxent une pareille recherche d'absurdité. Le mot est vif, et, ce qui est plus grave encore, il n'est pas juste. Il est vrai que les défenseurs de l'hélice ont été durs, de leur côté, pour les aéronautes. Quiconque se sert de l'épée périt par l'épée.

M. Babinet a beaucoup étudié théoriquement et expérimentalement la question des hélices motrices dans l'air et dans l'eau. « Pour tirer de l'hélice un effet avantageux, dit-il, il faut lui communiquer un mouvement rapide, car alors le fluide, obligé de céder à l'impulsion, n'a pas le temps de fuir ; il est fortement comprimé, comme l'air sur la face antérieure d'un boulet de canon. » — Il cite, à ce propos, les expériences faites, au-dessous de Saint-Cloud, avec un bateau à hélice dont le pas égalait 1 mètre et qui, en 1,000 tours, si l'eau n'avait pas cédé, aurait fait 1 kilomètre. Quand l'hélice tournait lentement, le bateau ne faisait que 200 mètres ; il en faisait 800 quand on imprimait à l'hélice un mouvement de rotation très-rapide.

C'est après cette étude et ces expériences que M. Babinet écrivait : « Depuis plus de quinze ans, je prêche la navigation aérienne par l'hélice. J'en ai conféré avec toutes nos célébrités mécaniciennes, et, si MM. de Ponton d'Amécourt et de la Landelle n'avaient pas réalisé, comme ils l'ont fait, des appareils automoteurs qui emportent leur force vive avec eux, je me regarderais, aussi bien qu'un grand nombre de géomètres et de physiciens, comme autorisé à réclamer l'idée de l'hélice voyageuse dans l'air, et de plus, je pourrais produire tous les calculs mathématiquement infaillibles qui garantissent le succès de cette navigation. Ces calculs sont analogues, pour ne pas dire identiques, à ceux que l'on a faits pour l'aile du moulin à vent, pour les vannes de la turbine, pour les ventilateurs et enfin pour l'hélice maritime. Toujours le résultat a été le même que celui qu'indiquaient les formules mécaniques. »

A quels engins automoteurs M. Babinet fait-il allusion dans ce passage ? A des appareils dont le lecteur trouvera la description dans une brochure très-vive et très-spirituelle, intitulée : *la Conquête de l'air par l'hélice*, et dont l'auteur est M. le vicomte de

Ponton d'Amécourt. Ces appareils empruntent la force motrice à un ressort et s'enlèvent par leur propre impulsion ; ils sont donc parfaitement automoteurs et prennent leur point d'appui sur l'air qu'ils traversent.

« Avec les petits modèles mis sous les yeux du public à une réunion nombreuse chez M. Nadar, et par moi, dans une conférence de l'association polytechnique, disait M. Babinet dans un feuilleton scientifique du *Constitutionnel*, on a vu ces appareils, pourvus de ressorts bandés par une force médiocre, s'enlever et se soutenir en l'air pendant tout le temps de l'action du ressort. Or, si un petit appareil à vapeur, facile à imaginer, eût rendu au ressort moteur la tension qu'il perd en mettant l'hélice en mouvement, le mécanisme en question se fût indéfiniment élevé, soutenu et dirigé au milieu de l'atmosphère. »

Il n'y a pas lieu, pour imprimer à l'hélice un mouvement de rotation assez rapide, d'avoir recours à un autre agent que la vapeur ; seulement la machine dont on se servira devra être l'objet d'études spéciales. M. de Ponton d'Amécourt s'est occupé de cette question. Ses conclusions toujours hardies, parfois audacieuses, ne peuvent être passées sous silence.

Un moteur à vapeur, dit-il, se réduit à deux parties essentielles, la machine proprement dite et le générateur. Au point de vue des transmissions, le mécanisme est presque irréprochable ; il ne faut pas plus songer à l'amoindrir qu'à atrophier le principal muscle de l'oiseau. Le générateur, au contraire, est trop lourd ; il faut aviser à l'alléger. Pour cela, il faut donner un plus grand développement à la surface de chauffe et réduire le diamètre de la chaudière à celui d'un tube qu'on pourrait enrouler en bobine ou en serpentin. « Multiplier la production de vapeur, ajoute-t-il, c'est tout simplement multiplier la longueur des tubes générateurs. Si tous les fils télégraphiques du monde étaient des tubes, j'en ferais une pelote, je la jetterais dans le Vésuve et je ferais bouillir la Méditerranée. Cette image montre ce que peuvent faire mes petits tubes comme générateurs de vapeur. Veut-on savoir, par une autre image, ce que peut la vapeur engendrée par ces faibles organes ? Donnez-moi une bombe de guerre ; nous y introduirons quelques centilitres d'eau ; j'y adapterai quelques mètres de mes générateurs lilliputiens et, sans approcher la bombe du feu, je la ferai éclater avant que mes tubes ne crèvent. »

C'est avec un moteur fondé sur ce principe qu'on doit faire marcher le premier modèle à échelle précise dont on prépare les épures. Dès que l'expérience aura confirmé qu'on peut construire un appareil qui, outre son propre poids, enlève une certaine charge, et, grâce à ses propulseurs, se dirige dans l'atmosphère, on sera autorisé à calculer une machine capable d'enlever un plus lourd fardeau. « Un modèle en grand est toujours bien plus avantageux qu'un appareil de faible capacité, dit encore M. Babinet, et, dès qu'on aura enlevé une souris, il sera prouvé *à fortiori* qu'on enlèvera un éléphant ; ce sera une question de technologie et d'argent et non pas de science. On dit en fortification : petite place, mauvaise place ; il est encore plus vrai de dire, en mécanique : petit moteur, mauvais moteur. La plupart des déceptions qui ruinent les inventeurs proviennent de ce qu'ils jugent de l'effet d'une machine par celui d'un petit modèle qui est ce qu'on appelle un chef-d'œuvre, non susceptible de fonctionner en grand. C'est encore le cas des gens qui calculent le produit d'un champ par le rendement d'une culture faite dans une caisse posée sur leur fenêtre. »

Il ne sera peut-être pas sans intérêt, pour le lecteur, au moment où la question de la navigation aérienne par l'hélice est si vivement agitée, de relire une page d'un livre où Paucton, après avoir exposé la théorie de la vie d'Archimède, esquisse à grands traits le dessin de son ptérophore [1].

« Un homme, dit cet auteur, est capable d'une force suffisante pour vaincre le poids de son corps. Si donc je mets entre les mains de cet homme une machine telle que, par son moyen, il agisse sur l'air avec toute la force dont il est capable et toute l'adresse possible, il s'élèvera à l'aide de ce fluide comme à l'aide de l'eau, ou même d'un corps solide. Or, il ne paraît pas que, dans un ptérophore [2], adapté verticalement à une chaise, le tout fait de matière légère et soigneusement exécuté, il se trouve rien qui l'em-

[1] *Théorie de la vis d'Archimède* de laquelle on déduit celle des moulins conçue d'une nouvelle manière. Épigraphe : *Nihil est quod arte curaque si non potest vinci mitigetur.* — Plin. Jun. Paris, Butard, 1768.

[2] Paucton nomme *ptérophore* ou *tourbillon* un instrument composé d'une circonvolution de sciadique autour d'un cylindre. On a une idée assez claire de la *sciadique* si on la compare à la montée d'un escalier à noyau ou en vis.

pèche d'avoir cette propriété dans toute sa perfection. Dans la construction, on aurait soin que la machine produisît le moins de frottement qu'il serait possible ; et elle doit naturellement en produire peu, n'étant pas du tout composée. Le nouveau Dédale, assis commodément sur sa chaise, donnerait au ptérophore, par le moyen d'une manivelle, telle vitesse circulaire qu'il jugerait à propos. Ce seul ptérophore l'enlèverait verticalement ; mais, pour se mouvoir horizontalement, il lui faudrait un gouvernail ; ce serait un second ptérophore. Lorsqu'il voudrait se reposer un peu, des clapets ou soupapes ajustés solidement aux extrémités des secteurs de sciadique fermeraient d'eux-mêmes les canaux hélices par où l'air coule et feraient de la base du ptérophore une surface parfaitement pleine qui résisterait au fluide et ralentirait considérablement la chute de la machine. »

Au moteur près, n'y a-t-il pas une analogie frappante entre le ptérophore de Paucton et l'hélicoptère? Nous voilà donc, après deux cents ans d'efforts, revenus, pour ainsi dire, au point de départ. Il est juste d'ajouter que Paucton, craignant de se compromettre, n'annonçait son projet qu'avec mille précautions, et, après l'avoir décrit fort sérieusement, affectait d'en rire le premier.

« Je sais, disait-il, qu'on ne peut guère manquer de faire rire, en voulant donner des ailes à un homme ; je sais de plus que plusieurs personnes qui ont osé prendre l'essor dans les airs n'ont pas eu un meilleur succès que l'imprudent Icare ; aussi, mon intention n'est pas de donner ce projet comme une chose sérieuse. Il est permis de s'égayer quelquefois. »

Nous voudrions, pour la confusion des incrédules, que le problème de la navigation aérienne fût susceptible d'une double solution, et que l'hélicoptère eût l'honneur de la priorité.

E. Menu de Saint-Mesmin.

PHYSIQUE APPLIQUÉE

I

DE LA PRÉVISION RATIONNELLE DU TEMPS

Si les lecteurs de l'*Annuaire scientifique* veulent bien prendre la peine de se reporter à ce que nous disions l'an dernier à pareille époque, à propos de la *télégraphie météorologique*, nous sommes certains qu'ils ne nous en voudront pas si nous nous croyons le droit de nous écrier : *Et nous aussi nous sommes prophètes!* En effet, si nous n'avons pas indiqué à l'avance les orages qui devaient éclater dans le ciel de 1863, comme les successeurs de Mathieu Lænsberg, nous avons eu la consolation de prévoir un phénomène beaucoup plus difficile à pressentir par le temps d'indifférence qui court. Nous n'avons pas craint d'annoncer hardiment que le jour s'approchait où les doctrines de Biot allaient cesser de paralyser l'enthousiasme de nos académiciens pour la météorologie.

Si la science française n'a pas encore reconquis le rang qui appartient dans la physique du globe à la patrie des Pascal et des Arago, au moins voyons-nous que nos Observatoires sont entrés en campagne, comme nous l'avions demandé. Déjà le savant amiral qui préside aux destinées du *Board of Trade* a cessé d'annexer nos côtes à l'empire de ses prédictions, et a battu en retraite devant M. Marié-Davy. Bientôt, sans doute, nous n'aurons plus rien à envier à nos émules d'outre-Manche ou d'outre-Rhin, et des postes sémaphoriques viendront porter aux navires de la haute mer les nouvelles des plus lointains océans.

Il semblerait donc que nous devrions nous borner à appeler les bénédictions de la Muse sur les savants qui veulent reconquérir

une partie importante de la gloire nationale, et que notre rôle se bornerait à attendre que de nouvelles découvertes illustrent encore une fois notre patrie. Malheureusement nous portons tous la peine d'une trop longue indifférence pour la plus attrayante des sciences naturelles; aussi ne pouvons-nous nous contenter d'admirer ce qui a pu se faire de grand, de raisonnable ou d'utile dans le monde officiel. On dirait que les préjugés scientifiques ou autres sont analogues aux animaux hibernants, en ce qu'ils peuvent s'endormir pendant de longues années et se réveiller brusquement, aussi vivaces que dans leurs plus beaux jours.

Certains rhéteurs, mis en retrait d'emploi par le contre-coup des événements politiques, ont cherché à profiter de ce réveil de la météorologie positive pour remettre en honneur des idées dont la critique de l'école de Laplace semblait avoir fait radicalement justice.

Voilà les Académies condamnées à se débattre gravement contre les prédictions d'empiriques qui ne se fatigueront jamais d'en appeler du ciel serein au ciel en courroux, et qui, à défaut de grêle, se contenteront de pluie ou même de vent, et qui, si la neige leur manque, se consoleront en glissant sur du verglas.

I

Fondation d'un bureau d'observation météorologique à l'Observatoire de Paris. — Cartes de M. Marié-Davy.

Nous n'apprendrons certainement rien de nouveau à nos lecteurs en leur disant que la météorologie française est à même de profiter de tous les avantages de la centralisation la plus puissante, et que, par conséquent, nos savants peuvent se flatter de dépasser rapidement leurs rivaux d'Angleterre et d'Allemagne.

Il leur suffit de convaincre le ministre de l'intérêt qui s'attache à leurs travaux pour obtenir l'usage presque indéfini du magnifique réseau de lignes télégraphiques qui appartient à l'État. Le gouvernement n'aurait-il pas mauvaise grâce de marchander quelques messages à la télégraphie scientifique, quand les correspondances officielles donnent lieu à près de deux mille télégrammes quotidiens?

Après trois ans de services signalés, le *Board of Trade* est encore obligé de se contenter de la place qu'il doit à l'hospitalité du *Times*. Notre Observatoire météorologique est venu au monde avec les ressources nécessaires pour publier un journal quotidien. La science du ciel a son Moniteur, où elle règne en souveraine. Rien n'empêche d'introduire successivement dans cette feuille toutes les modifications que l'esprit d'analyse peut suggérer à nos physiciens.

Après quelques tâtonnements, que nous avons trouvés trop longs pour notre part, mais qui étaient peut-être inévitables, l'organe de la science française réalisa un progrès dont nous allons essayer de faire comprendre l'importance.

Chaque matin il présente à ses lecteurs une carte de l'Europe sur laquelle se trouvent dessinées les lignes de niveau de la pression barométrique. Des flèches accompagnant ce croquis montrent la direction des vents; elles permettent de suivre à peu près la route décrite par les masses d'air et de les voir balayer la surface ondulée de notre continent.

Il serait certainement à désirer que les observations servant à constituer ce tableau aient lieu au même instant physique. On ne comprend pas très-bien, en outre, pourquoi l'on ne chercherait point à donner une idée de la rapidité relative des divers courants aériens, en faisant varier le nombre de flèches qui indiquent leur direction. Qui sait même s'il ne serait pas nécessaire de joindre à cette première esquisse des courbes d'une autre couleur, afin d'indiquer en même temps la distribution de la température.

Mais, telle qu'elle est soumise au public, cette première ébauche rend déjà des services essentiels. C'est elle qui permet de deviner la nature des changements qui se préparent dans l'océan aérien, et de prévoir les orages qui vont éclater au-dessus de nos têtes.

Lorsque M. Marié-Davy voit les courbes d'égale pression barométrique affecter la forme de lignes fermées suivant à peu près les contours du plateau central de la France, il peut se préparer à enregistrer des pluies abondantes, produites par l'influence de ces masses neigeuses. Il ne croira point avoir droit à l'immortalité s'il a prévu que de grandes quantités d'eau atmosphériques vont se précipiter sous forme de pluie ou de neige.

Le lendemain, une dépression menaçante se produit le long des côtes de l'Atlantique et annonce de grandes perturbations, qui ne

manquent jamais de se produire. Puis les lignes se plient, se replient; s'entre-croisent; c'est un désordre à défier toute interprétation rationnelle.

Les aspects de ces cartes peuvent être aussi mobiles que ceux du ciel lui-même. Cependant, comme il y a entre eux une espèce de liaison nécessaire, on peut dire que la nature elle-même inscrit le secret du temps à venir en caractères qu'il s'agit de déchiffrer. M. Marié-Davy s'exerce à faire ce métier de Champollion. Mais, trois cent soixante-cinq fois plus modeste que M. Mathieu (de la Drôme), le collègue de M. Le Verrier se contente d'épeler ce langage pour un jour à l'avance. Il croit même, tant il est modeste, que c'est un grand triomphe pour lui que de réussir avec l'aide de toutes les ressources que la science peut mettre à sa disposition.

Hélas! le temps n'est pas ce qu'un vain peuple pense; car, malheureusement pour la gloire des prophètes, il est parfaitement absurde de prétendre qu'il pleut toujours pour tout le monde.

Que diront les partisans de l'almanach météorologique en apprenant que ces prédictions si modestes de M. Marié-Davy ont besoin d'être débitées pour ainsi dire en détail? La moitié à peine des côtes de notre continent a été étudiée, et déjà l'on est obligé de reconnaître qu'il faut les partager en une douzaine de cantons différents offrant presque toujours les uns avec les autres les contrastes les plus saillants.

Oserons-nous ajouter qu'il n'est pas jusqu'à la détermination des frontières de ces divers départements de l'empire d'Éole qui ne constitue un problème des plus compliqués? M. Davy se croit obligé de tâtonner pour triompher d'une difficulté dont M. Mathieu (de la Drôme) ne paraît pas soupçonner l'existence.

Encore le savant directeur de notre bureau météorologique ne paraît-il avoir lui-même qu'une médiocre confiance dans la valeur définitive des solutions qu'il propose. Il tâtonne et rature, et son équilibre météorologique paraît destiné à être bouleversé bien plus souvent encore que ne l'a été déjà la carte politique du monde européen. Et cependant il s'abstient d'étendre ses prévisions aux districts montagneux par lesquels M. Mathieu (de la Drôme) a commencé son apprentissage!

II

Les prédictions de M. Mathieu de la Drôme. — Critiques de M. Le Verrier.

C'est vers le milieu de l'année dernière que le public et les corps savants commencèrent à entendre parler de nouveau de M. Mathieu (de la Drôme), oublié depuis le coup d'État de décembre 1851. L'ancien membre de l'Assemblée législative notifia au monde sa nouvelle vocation, en faisant comme Charlemagne, c'est-à-dire en se décernant lui-même les honneurs du triomphe. Le spectacle était nouveau, et M. Mathieu (de la Drôme) obtint facilement un immense succès auprès de la presse non scientifique et du public incompétent. Mais il ne se contenta pas de cette gloire un peu vulgaire, et il voulut faire proclamer son infaillibilité par l'Académie des sciences. Il se présenta donc orné de paquets cachetés qu'il venait déposer entre les mains de l'illustre assemblée seule digne de veiller sur un si précieux dépôt. Mais M. Duhamel, qui occupait alors le fauteuil de la présidence, refusa de prêter son concours à l'enregistrement de ces prophéties.

Le spirituel géomètre fit remarquer qu'il ne pouvait avoir une foi absolue dans l'impartialité des enthousiastes se lançant dans la carrière des pronostications ; car, pour être prophète, on n'en est pas moins homme, et il faudrait être plus qu'homme pour suicider sa propre gloire en réclamant la publication des pièces déposées, si les vents trahissaient tous leurs devoirs, si la pluie se montrait rebelle, ou si les inondations se faisaient trop longtemps attendre !

Par le temps de tables tournantes et de *rappins spirits* qui court, les corps savants ont véritablement charge d'intelligence. Ils seraient véritablement impardonnables s'ils ne prenaient toutes les précautions nécessaires pour empêcher les empiriques de profiter d'une heureuse coïncidence et de décacheter leurs prophéties devant un public ébahi, tandis qu'ils garderaient pour eux seuls le secret de leurs désappointements.

Grâce à ces sages précautions, la publicité a pu, comme nous allons le voir, corriger le mal qu'elle avait fait, et les espérances exagérées que l'on avait pu concevoir furent réduites à leur plus simple expression. Il ne reste plus à M. Mathieu (de la Drôme)

que le mérite d'avoir ameuté l'opinion contre la trop longue indifférence de nos académiciens pour la météorologie.

M. Mathieu a ressuscité une théorie qui est bien loin de voir le jour pour la première fois. En effet, après avoir reconnu que la Lune agit sur l'Océan, les physiciens devaient naturellement supposer qu'elle agit également sur l'atmosphère, et se demander si cette action ne permet pas d'expliquer les oscillations de la pression barométrique et, par conséquent, les alternatives de calmes et d'orages.

Il est vrai, personne n'eut jamais dans cette théorie une confiance comparable à celle de M. Mathieu, qui s'écria « qu'il pourrait calculer le temps futur, quinze ou vingt ans à l'avance, avec une précision toute astronomique. »

Hélas ! si l'ambitieux prophète avait reçu la confidence des embarras des géomètres, des physiciens, des hydrographes ; s'il savait combien les plus habiles sont loin de réussir dans leurs calculs relatifs aux mouvements des mers, il ne se serait sans doute point exprimé avec une si magnifique assurance.

Nos savants se consolent de l'inexactitude de leur formule en mettant les retards du mascaret sur le compte des vents, qui ont assez bon dos pour porter bien d'autres choses, mais sur le compte de qui M. Mathieu pense-t-il pouvoir mettre le retard des marées éoliennes, si ses tempêtes oublient de souffler ?

Au point de vue physique, la question est, pour ainsi dire, jugée. Les laborieuses observations de Bouvard ont démontré que les évolutions de notre satellite ne produisent pas une variation d'un millième dans la valeur moyenne de la pression barométrique. Comment deux rédacteurs de l'*Annuaire météorologique* peuvent-ils se regarder sans rire en songeant que leur rédacteur en chef veut expliquer ainsi les variations de pression dix, vingt, trente fois plus grandes ? Bouvard nous démontre que la Lune ne produit aucun effet appréciable en passant des syzygies aux quadratures qui en sont distantes de près de deux cents diamètres lunaires. Peu importe au fondateur de cette météorologie homœopathique ; une heure de retard suffit pour changer toutes les conditions thermométriques. Que l'astre se déplace d'un seul diamètre, que le bord occidental vienne à la place qu'occupait le bord oriental, et nous serons trempés par d'incessantes averses, au lieu d'avoir à soupirer après la pluie !

M. Le Verrier, à qui nous empruntons cette argumentation ne se borna pas à suivre, comme nous le verrons plus tard, son contradicteur sur le terrain des faits ; il remonta, pour ainsi dire, jusqu'aux causes des erreurs dans lesquelles il avait dû tomber.

Jamais les savants qui étudient empiriquement des phénomènes dont la cause est inconnue ne négligent d'exclure les cas extraordinaires, les monstruosités.

Ainsi Sabine, qui use ses yeux et sa vie avec autant de dévouement que M. Mathieu (de la Drôme) peut le faire, à découvrir la théorie des oscillations de l'aiguille aimantée, met à part les grandes perturbations magnétiques. M. Mathieu, moins prudent, ne fait pas de distinction et réunit dans ses moyennes les pluies exceptionnelles avec celles qui peuvent être considérés comme provenant du jeu normal et régulier des causes usuelles.

Or, il arriva, pour le malheur de l'ancien membre de l'Assemblée législative, que, dans la première phase de la Lune, qui commença le 25 octobre 1840, à neuf heures cinq minutes du matin, il tomba plus d'un mètre d'eau. Cette période malencontreuse suffit pour tout bouleverser, car M. Mathieu (de la Drôme) fit un bloc de ce mètre d'eau et des quantités réglementaires.

Si on compte comme tout homme raisonnable doit le faire, c'est-à-dire sans parler de ces pluies, la règle de M. Mathieu se trouve renversée de fond en comble, et les premières phases changent de caractère ; au lieu d'être les plus humides, comme le veut le prophète, elles deviennent les plus sèches, comme le veut peut-être la nature.

Ainsi, pour déterminer les lois régulières de la chute des pluies, le fondateur de la météorologie nouvelle en arrive à se servir d'une formule sans doute radicalement fausse, et qu'il aurait retournée lui-même si un orage extraordinaire n'avait brouillé tous ses chiffres. Ce déplorable résultat ne surprendra personne, car tout le monde sait que tous les pays de montagne sont exposés à de pareilles avalanches humides. Aussi M. Mathieu n'est-il pas à plaindre. S'il a été induit en erreur d'une manière aussi grossière, c'est qu'il l'a voulu. Est-ce que la terre entière n'est pas assez vaste pour fournir un autre observatoire que celui de Genève placé aux pieds du plus puissant massif de l'Europe occidentale?

Mais les raisons théoriques ont peu de poids auprès de la foule habituée à juger des hommes et des choses par le succès. Voyons

donc comment les prédictions de M. Mathieu (de la Drôme) ont été vérifiées. Toutefois, hâtons-nous de protester contre l'inculpation de nous en rapporter aveuglément aux résultats apparents. Une expérience n'est décisive que lorsqu'elle confirme des faits dont aucun ne répugne à la raison.

Nous avons considéré l'émotion qui s'est emparée de l'opinion parce qu'un inconnu avait gagné un ambe à la grande loterie des saisons comme un désastreux symptôme de l'ignorance publique. Il est triste de penser que les éléments ont eu plus de bon sens que les hommes, et que nous aurions assisté à une véritable insurrection morale, si un orage avait éclaté entre mars et avril. Espérons que bientôt nous n'aurons plus besoin qu'un heureux rayon de soleil vienne rassurer nos immortels, et montrer qu'il n'y a pas que les Fulton qui aient à se plaindre d'être éconduits par notre sénat académique.

III

Les prédictions de M. Mathieu de la Drôme ne sont pas d'accord avec les faits.

M. Mathieu (de la Drôme) avait déclaré que des pluies notables devaient arroser une grande partie de l'Europe occidentale à la fin du mois de mars ou au commencement d'avril. C'était une époque assez heureusement choisie, car, d'ordinaire, les pluies ne manquent pas à cette époque.

Par malheur, le ciel se montra d'une avarice véritablement surprenante; il ne tomba pas une seule goutte d'eau depuis le 23 mars jusqu'au 6 avril, et les udomètres répondirent tout d'une voix : « Zéro, zéro, zéro. »

Cette réjouissante unanimité semblait décisive. Faute d'une goutte d'eau, M. Mathieu a perdu son Waterloo, et sa gloire, qui avait commencé avec une averse, allait passer comme un nuage devant les premiers rayons du soleil d'un printemps précoce.

Cependant il n'en était rien, et M. Mathieu (de la Drôme) méditait une éclatante revanche. Quelques mois plus tard, l'on vit sortir triomphalement des presses de M. Plon un almanach : c'était l'évangile de la loi nouvelle.

Une douzaine d'apôtres, choisis, non parmi les hommes obscurs, mais parmi les sommités scientifiques, donnaient l'appui de leur

nom au fondateur d'une dynastie de devins météorologiques. M. Mathieu (de la Drôme) veut faire souche, il nous menace de ses petits-fils jusqu'à la dernière génération.

M. Mathieu, dans les prédictions rendues publiques sans rétribution préalable, avait annoncé que des orages éclateraient à la fin de septembre ou au commencement d'octobre, et, en effet, à cette époque, on vit les vagues se gonfler sur presque tous les océans du septentrion.

Tous les marias savent qu'une pareille prédiction ne demande pas beaucoup plus d'esprit prophétique que l'annonce du prochain retour du soleil, quand il a disparu sous l'horizon; mais la foule, toujours un peu crédule, vit, dans ses premières tempêtes, un premier succès, et l'approbation universelle se traduisit par un débit considérable des trois éditions de l'almanach Mathieu, du simple, du double et du triple, car, suivant la spirituelle remarque de M. Georges Barral, le Mathieu a été mis à la portée de toutes les bourses.

Malheureusement, le sage qui a usé ses yeux et sa vie à compulser les registres météorologiques n'avait rien dit pour la fin du mois si orageusement commencé. Il y a des nuages pour toutes les gloires, même pour celles qui sont conquises en météorologie.

Une tempête d'une violence bien plus terrible que celle du commencement d'octobre vint faire oublier les premiers sinistres. Les incrédules se demandaient déjà comment M. Mathieu n'avait point aperçu venir des trombes, dont le diamètre avait atteint plusieurs centaines de kilomètres, comment il avait laissé éclater à l'improviste des ouragans, auprès desquels ceux qu'il avait pris la peine de prédire ne sont que des zéphyrs?

Peut-être le succès de la campagne allait-il être compromis, lorsque quelques gouttes de pluie vinrent rendre l'espérance à tous les adhérents.

Le maître ayant annoncé que la fin de novembre serait pluvieuse, M. Babinet s'empressa de crier au triomphe dans le feuilleton du *Constitutionnel*. Mais le temps est capricieux, bien fol est celui qui se fie au plus mobile des éléments. A peine l'article avait-il paru, que le baromètre se mit au beau, et la fin du mois de novembre fut remarquable à la fois par sa sécheresse inusitée et par la douceur de sa température.

Si, pour notre malheur, nous faisions métier de prophètes, nous

nous garderions bien d'employer l'électricité à expédier des errata *in extremis* à nos révélations. Mais, peut-être M. Mathieu, moins rigide, se croit-il le droit d'imiter Mahomet, qui renverse dans ses dernières sourates tout ce qu'il a dit dans ses premières, de sorte que les derniers avis sont toujours les seuls bons.

Le mois de décembre est si fertile en orages qu'on peut croire qu'il suffit de lancer une prophétie au tas, au hasard de l'inspiration, pour qu'elle tombe sur quelque ouragan.

Mais, cette fois encore, M. Mathieu a joué de malheur. Le jour prédit pour le commencement de la tempête fut précisément celui qui vit finir celle dont les rafales devancèrent ironiquement la sagesse de M. Mathieu. Éole prononça son *quos ego* au moment où un ambitieux mortel lui avait intimé l'ordre de crever ses outres!

Ce n'est pas tout, et, grâce aux travaux de M. Marié-Davy, nous pouvons apprécier à leur juste valeur la portée des prophéties.

L'ingénieux collaborateur de M. Le Verrier reconnut sans peine que la tempête du 2 décembre a été produite par un cyclone vomi par l'océan tropical contre les cieux du septentrion.

Or, M. Mathieu ignore sans doute qu'un tourbillon de cette nature décrit lentement une orbe que l'on peut dessiner sur les cartes avec une précision toute astronomique.

S'il se doutait que ce phénomène dure plusieurs jours, il ne soutiendrait point qu'il provient de marées se renouvelant toutes les treize heures. S'il n'oubliait toutes les notions élémentaires de mécanique, il ne viendrait pas prétendre que l'attraction lunaire, unique de sa nature, peut donner naissance à un couple de rotations, c'est-à-dire à un mouvement qui suppose l'action de deux forces égales, et, de sens contraire, il n'irait pas chercher à une distance de soixante rayons terrestres les causes qui ont pu déchaîner les vents circulaires dont le souffle désole le périmètre du tourbillon.

Enfin M. Mathieu, qui rapporte tout à la Lune, peut-il se servir de cet astre pour expliquer ce qui se passe au centre du cyclone, car ce n'est pas une protubérance d'air, une montagne atmosphérique que la Lune charrie; hélas! c'est un gouffre, un véritable gouffre, qui balaye la surface des océans.

Pour soutenir que la Lune peut creuser cet entonnoir, il faut admettre qu'elle agit par répulsion, ce qui est une nouvelle hypo-

thèse accessoire devant laquelle M. Mathieu ne reculera sans doute pas ; mais nous ne discuterions point aujourd'hui cette nouvelle variante de sa thèse, s'il tentait de la produire.

IV

La théorie de M. Mathieu (de la Drôme) est en désaccord avec les lois de la physique.

Quoique le ciel, pris à témoin, ait donné son verdict, nous ne nous contentons pas de cette espèce de *jugement de Dieu*, et nous invoquerons encore celui de la raison, qui ne saurait en aucune façon nous induire en erreur.

Examinons, pour commencer, ce que nous dit la théorie de l'attraction newtonienne : la seule autorité scientifique contre laquelle il n'y a pas de danger de voir M. Mathieu s'insurger, puisqu'il invoque sa généralité.

Cette théorie nous apprend que la Lune n'exerce pas directement un effort mécanique sur les eaux ou sur les airs qui couvrent la planète, mais qu'elle agit comme si elle aspirait les liquides de l'hémisphère qu'elle regarde.

En effet, si son action était directe, on n'observerait qu'une seule marée par jour, surélevant les flots du côté où elle se porte. La mer ne viendrait pas battre les falaises deux fois par vingt-six heures environ.

Le rôle de notre satellite est donc d'introduire dans les phénomènes d'équilibre des mers et de l'atmosphère une composante variant à chaque instant de direction et d'intensité. Cette force, essentiellement mobile, vient se combiner avec la pesanteur et en modifier les effets en vertu de la loi du parallélogramme des forces. En réalité la direction du fil à plomb est incessamment variable pour tous les points de la terre, et sa position vraie dépend à chaque instant du lieu que la Lune occupe successivement ns son orbe. Mais les différences introduites par les évaluations e masse qui n'est pas supérieure à 1 p. 100 de notre sphéroïde i agit à une distance d'une soixantaine de rayons terrestres, ne sont pas appréciables avec les moyens d'observation dont nous disposons.

Elle ne se manifeste même pas d'une manière bien notable dans les nappes d'eau d'une étendue limitée, comme la mer Caspienne

ou la mer Méditerranée. Elle ne donne naissance à des mouvements appréciables que sur des mers ouvertes comme le sont les océans qui, d'un pôle à l'autre, se font pour ainsi dire équilibre.

N'oublions jamais que la pesanteur agit de la même manière sur tous les corps, quelle que soit leur densité, et nous comprendrons facilement l'inanité de la science de M. Mathieu. En effet les déformations produites sur une sphère d'un rayon donné, par le mouvement diurne de la Lune, sont indépendantes de la nature du fluide qui recouvre cette sphère. Elles seront rigoureusement les mêmes, qu'il s'agisse d'une mer d'hydrogène ou d'une mer de mercure. La colonne soulevée par la marée semi-diurne ne sera pas plus haute dans le premier cas que dans le second. Mais l'effet de ces marées variera dans le rapport de un à quinze mille; si donc le rayon des couches extérieures de l'atmosphère est à peu près le même que celui de la sphère oscillatrice d'ellipsoïde aqueux, la colonne d'air soulevée chaque jour ne sera pas plus haute que la colonne d'eau correspondante, que la hauteur de la colonne d'eau mise en mouvement par la marée neptunienne dans un vaste océan.

Or, l'expérience nous prouve d'une manière incontestable que l'onde de haute mer ne dépasse pas *quelques mètres*. Quelle influence veut-on que les oscillations d'une colonne de quelques mètres d'air exercent au fond de l'océan aérien où nous sommes attachés?

Peut-être l'épaisseur de l'atmosphère est-elle sensiblement plus grande qu'on ne le croit communément, ajouteront les partisans de M. Mathieu. Peu nous importe; admettons que cette quantité soit assez notable pour que la dimension verticale de l'onde de haute atmosphère puisse être doublée ou triplée, M. Mathieu (de la Drôme) n'y gagnerait pas grand'chose, et les différences de pression résultant du reflux aérien seront toujours insignifiantes. Mais M. Mathieu n'aura pas même cette vague consolation, car il parle de l'effet de la Lune sur la vapeur aqueuse.

Or, la vapeur d'eau semble se comporter comme une atmosphère spéciale, possédant ses lois propres de tension et ne s'étendant qu'à une très-faible hauteur, à cause de la progression rapide du refroidissement avec les grandes altitudes. Le rayon terminal de l'atmosphère aqueuse est donc sensiblement égal au rayon moyen du sphéroïde terrestre. Si l'atmosphère s'étend à ces

hauteurs prodigieuses que les frottements des bolides nous révèlent, peu nous importe, car la vapeur d'eau ne parvient jamais à ces immenses hauteurs.

Si nous cherchions l'origine *morale* de l'erreur de M. Mathieu (de la Drôme) nous la découvririons dans une croyance dont Arago a fait justice depuis de longues années. Les phases de la Lune ne représentent aucun phénomène astronomique nettement défini. C'est par une pure concession, peut-être indigne du siècle, que les astronomes ont conservé dans leurs éphémérides l'indication des différents quartiers. Est-ce un juste châtiment de leurs idées fausses que d'avoir à se débattre contre un empirique qui s'exprime comme si les phases avaient une existence réelle !

M. Mathieu (de la Drôme) a fait preuve d'un zèle très-remarquable pour le bien de la science ; malheureusement son activité semble s'être égarée comme nous avons essayé de le démontrer. L'eau vaporisée n'est point réduite comme, celle qui reste dans le fond des mers, à obéir à peu près exclusivement à la puissance tyrannique de l'attraction et de la force centrifuge.

C'est la chaleur atmosphérique qui lui a donné ses ailes, c'est le refroidissement qui les lui enlèvera, et la précipitera de nouveau dans les régions inférieures; c'est donc surtout des variations de la chaleur du soleil qu'il faut s'occuper si l'on veut rendre compte des changements qui s'opèrent dans la succession régulière des saisons. Est-il besoin de dire que, pour résoudre ce problème, il est bon de se préoccuper du Soleil lui-même, de se préoccuper de l'affreuse lèpre qui couvre quelquefois la figure du dieu.

Malheureusement ces accidents ne s'aperçoivent qu'à l'aide d'une lunette astronomique, instrument que dédaigne presque toujours un œil inspiré.

A force de prédire, on doit naturellement finir par tomber juste, et nous pouvons, par conséquent, supposer que la persévérance de M. Mathieu (de la Drôme) sera enfin couronnée d'un succès éclatant, si le prophète ne perd point pourtant patience.

Que dirait le suffrage universel des gens qui n'ont pas étudié la physique, si les orages dont M. Mathieu attend l'arrivée avec autant d'anxiété que s'il s'agissait de l'arrivée de la comète de Charles-Quint ou d'un mascaret d'une hauteur inusitée venaient éclater à jour fixe?

Mais ne nous laissons pas entraîner par la polémique à faire, même sous forme dubitative concurrence au prophète de Genève. Ne soyons pas jaloux de sa gloire retentissante.

Puissent ces quelques lignes faire ouvrir les yeux qui se sont laissé entraîner par les séductions d'une fausse science! Puisse enfin le spectacle des dangers que couvrent les fausses traditions scientifiques inspirer à quelque physicien l'ambition de chasser les marchands d'almanachs du temple de la météorologie! Mais, qu'on le sache bien, le peuple a besoin de pénétrer les lois compliquées de la science du temps, et cette partie importante de la physique moderne aura ses Nostradamus jusqu'au jour où elle aura enfin rencontré ses Kepler et ses Newton.

W. DE FONVIELLE.

II

LA PHOTOGRAPHIE EN 1863

La société française de photographie; Exposition de 1863, le chromo-stéréoscope; vitrification des épreuves photographiques; la photosculpture devenue un art industriel; agrandissement des épreuves photographiques; la question mise au concours, prix de 3,000 francs. — Cherté des glaces employées en photographie, réclamation. — Clichés portatifs. — Dédoublement des épreuves albuminées. — La photographie en rase campagne. — Substitution du sulfocyanure d'ammonium au cyanure de potassium et à l'hyposulfite de soude. — Nouveau procédé d'impression sur pierre par voie photographique. — Coloration des épreuves photographiques par actions chimiques. — Perfectionnement des Stanhopes. — Encore les cartes de visite. — L'Eicoscope.

Dès sa fondation, en 1854, la Société française de photographie s'est attachée à attirer dans son comité les savants les plus distingués. Se plaçant en dehors de toute spéculation, et surtout de toute coterie, son but unique fut de réunir en une association purement scientifique et artistique les hommes voués à la pratique de l'art photographique, en même temps que les savants qui, par leurs travaux désintéressés et leurs conseils, peuvent venir en aide aux praticiens proprement dits. En ne s'écartant jamais de cette voie, la société française de photographie s'est créé rapidement un rang distingué parmi les sociétés savantes.

Elle a obtenu l'autorisation de tenir dans le Palais de l'industrie une exposition publique d'œuvres photographiques concurremment à celle des œuvres de peinture et de sculpture. C'était rendre justice à la photographie, qui a dignement conquis son rang à côté de ces deux arts, pour lesquels elle s'est toujours montrée un aide, et non une cause de décadence, comme le prétendent ses détracteurs.

Le 1er mai de cette année s'ouvrait la cinquième exposition de la Société française de photographie pour être close le 1er septembre. Les photographes français et étrangers, non membres de la Société, ont été admis, comme les années précédentes, à exposer leurs œuvres et à prendre part au concours. Un jury d'admission a été composé à l'effet de rejeter les épreuves coloriées, celles qui avaient figuré aux expositions antérieures, celles enfin qui étaient présentées sous de fausses indications. Nous l'avions souvent demandé, et cette fois un article additionnel l'exigea, l'indication *sans retouches* (épithète reconnue dérisoire pour tous) fut rayée des étiquettes. Le jury, dont la composition garantissait, une exposition loyale, avait choisi pour président M. Regnault, et pour vice-président M. Balard, l'un et l'autre membres de l'Académie des sciences.

Il est fâcheux que la Société et le jury d'admission aient cru devoir bannir les appareils utilisés dans l'art photographique. Bien que les praticiens sachent à quel degré de perfection sont arrivés les constructeurs, ils ne connaissent, le plus souvent, que de réputation les progrès réalisés dans cette branche si importante de leur art ; il était donc utile, dans l'intérêt même des photographes, d'accorder aux fabricants d'appareils une place qu'ils méritent à tous égards. Un bon intrument fait la moitié du travail, disent les ouvriers ; pourquoi donc exposer les résultats obtenus et laisser les outils dans la coulisse?

Parmi les stéréoscopes encombrant les quelques socles destinés à meubler la salle, nous avons remarqué avec intérêt le *chromo-stéréoscope* de M. Cassaignes : une vis, placée près des bonnettes de l'instrument, permet de faire varier l'inclinaison de l'épreuve, et aussi de changer les verres différemment nuancés qui garnissent l'oculaire. Grâce à cette combinaison, une même épreuve change d'aspect et se présente sous différentes nuances imitant sensiblement des effets de matin, de plein soleil, de nuit, etc.

Deux écrans de verre transparent, dans l'intérieur desquels M. Moisson avait incorporé des épreuves photographiques, frappaient les yeux dès qu'on s'introduisait dans la salle. Après avoir pris un positif par transparence sur un négatif, l'auteur recouvre d'une couche de jaune d'ocre l'image photographique, et, lorsqu'elle est sèche, l'expose au feu du moufle jusqu'à la chaleur cerise. Après le refroidissement, on retrouve l'image vitrifiée. M. Lauleric a conseillé à l'auteur d'appliquer son procédé à la conservation des clichés. Peu de temps après, M. Moisson présenta des négatifs vitrifiés dont l'aspect est très-curieux ; on n'aperçoit, au premier abord, que les traits principaux du sujet et nullement les détails ; aussi la surprise est-elle grande, lorsqu'on retrouve dans les positifs toutes les finesses qui semblaient ne pas exister dans l'épreuve négative. La vitrification des épreuves négatives paraît, d'après ces premiers résultats, devoir être employée comme méthode de conservation ; elle l'emporte de beaucoup sur tous les vernis.

C'est avec la plus grande satisfaction que nous avons vu le milieu de la salle d'exposition occupé dignement par les photosculptures de M. François Willème. Lorsque nous annoncions cette invention dans l'*Annuaire scientifique* de 1862, elle venait de naître ; aujourd'hui l'idée s'est développée, elle a enfanté un art industriel.

Photographier son sujet, puis se servir des épreuves pour le transformer en statue d'une ressemblance satisfaisante, tel est le problème résolu par M. F. Willème. La photosculpture (c'est le nom définitif de cet art) nécessite pour son exécution un emplacement d'une construction spéciale ; la salle où pose le modèle est circulaire ; le jour arrive d'en haut, on peut le tamiser ou le nuancer par des écrans ; le modèle se place sur un piédestal au centre de l'enceinte : il se trouve environné de vingt-quatre objectifs situés sur une même circonférence ; les chambres noires sont en dehors de l'enceinte, dans un couloir circulaire : les plaques sensibles (un quart de grandeur) étant distribuées dans tous les appareils, la personne qui dirige l'opération donne un signal, et les vingt-quatre écrans qui masquaient les plaques sensibles se lèvent et retombent après un instant toutes en même temps. Le modèle est photographié sous vingt-quatre points de vue espacés de quinze degrés angulaires les uns des autres. Les opéra-

tions photographiques sont achevées, ces épreuves *négatives* sont étiquetées par numéros d'ordre, placées dans des cadres, et transportées dans la pièce où doit s'effectuer le travail du sculpteur.

L'épreuve négative n° 1 est soumise à l'action d'un appareil agrandissant, et l'image positive apparaît sur un écran, avec la dimension que l'on désire donner à la statue qu'il s'agit d'exécuter. Le bloc de terre à sculpter s'installe au centre d'un plateau circulaire divisé en vingt-quatre parties comme la circonférence des objectifs ; on place devant l'index n° 1 du plateau l'image qui porte également le premier numéro, et l'on conçoit que le bras d'un pantographe muni d'un stylet de sculpteur puisse creuser dans le bloc de terre la silhouette de l'image de l'écran, si celle-ci est suivie fidèlement par le style qui arme le second bras de l'outil. Cette première opération effectuée, on passe à l'image du deuxième négatif, que l'on soumet au même travail, après avoir eu soin de tourner le plateau d'une division ; une seconde silhouette, à quinze degrés de la première, est creusé dans le bloc, et ainsi de suite jusqu'à la vingt-quatrième, qui se trouvera de quinze degrés distante de la première. On comprend que si le nombre d'épreuves eût été de trente-six, de quarante-huit, au lieu de vingt-quatre, la fusion des épreuves eût été plus parfaite, et le travail final abrégé d'autant ; mais M. Willème pense, et son assertion est justifiée par la pratique, que le nombre vingt-quatre est parfaitement suffisant.

Après ce travail, il suffit de quelques coups de brosse et de stylet pour effacer les bavures et déterminer un ensemble rigoureux. — Disons, en outre, qu'il est aisé, pose et opérations photographiques comprises, de livrer une épreuve de sculpture en un seul jour.

Les épreuves agrandies nous ramènent à la photographie proprement dite; elles étaient préférables à celles de l'exposition précédente. On doit attribuer cet heureux résultat au perfectionnement des appareils et aussi aux dimensions plus restreintes que se sont imposées les opérateurs. Du reste, la Société française de photographie ne considère pas comme résolu l'agrandissement des épreuves, puisque, dans sa séance du 10 avril, elle a ouvert un concours relatif à cette question : « Un prix de 3,000 fr., dit le programme, sera décerné à celui qui aura résolu d'une manière

complète, soit en théorie pouvant être mise en pratique, soit en pratique même, les questions relatives à l'agrandissement des épreuves photographiques, dont les principales sont : 1° rapidité de la pose ; 2° absence de déformation ; 3° finesse et netteté de l'image ; 4° économie. Le concours sera clos le 1er octobre 1865[1]. »

On a songé depuis longtemps à employer la lumière électrique pour tirer des épreuves agrandies ; mais quand on veut opérer par projection directe sur écran enduit de chlorure d'argent, la pose est trop longue ; il est donc préférable d'avoir recours à la méthode suivante : on commence par tirer, avec le cliché négatif, un cliché positif de même grandeur. Cette première épreuve est soumise à l'action de l'appareil grossissant : l'image obtenue sera négative. On la reçoit sur une glace collodionnée, sensibilisée comme à l'ordinaire, et de grandeur égale à celle de l'épreuve désirée. L'exposition à la lumière est alors très-prompte ; on révèle à l'acide pyrogallique et on fixe suivant les méthodes connues. Ce *négatif* amplifié, une fois obtenu, on pourra tirer autant de positifs que l'on voudra sur papier au chlorure d'argent. Nous livrons cette méthode, qui nous a été communiquée par M. J. Duboscq, à ceux qui travaillent la question des agrandissements ; puissent-ils en tirer profit. Le reproche que nous lui adresserions est l'emploi forcé de glaces de grandes dimensions. Et, puisque nous sommes sur ce sujet, rappelons la réclamation faite par M. Davanne au sujet de la cherté des glaces employées en photographie. Le savant opérateur accuse peut-être à tort les fabriques françaises de tenir leurs prix élevés, tandis que nous pensons que ce reproche doit être adressé aux intermédiaires. Il n'en est pas moins vrai que les photographes trouvent avantage à faire venir leurs glaces d'Allemagne, bien que la douane prélève à l'entrée un prix exorbitant. Le photographe est donc contraint souvent à employer le verre pour les grands clichés, et les résultats ne sont pas aussi satisfaisants que ceux qu'on obtiendrait en opérant sur glace. Cette observation mérite d'attirer l'attention des personnes compétentes.

M. A. Terreil a proposé dernièrement un support éminemment transportable pour les clichés photographiques : c'est l'albumine. L'auteur enseigne aux photographes qui opèrent sur papier albuminé à séparer la feuille d'albumine sur laquelle reste l'épreuve de

[1] S'adresser au siége de la Société, 11, rue Drouot.

la feuille de papier qui devient inutile. Pour obtenir ce dédoublement, il faut parcheminer le papier en laissant tremper les épreuves pendant quelques minutes dans l'acide sulfurique ou dans une dissolution de chlorure de zinc, puis les soumettre à un lavage rigoureux. Dans cette opération, les surfaces seules du papier ou de l'albumine sont parcheminées, tandis qu'à l'intérieur, le papier reste tel qu'il était auparavant, c'est-à-dire non encollé, se détrempant facilement par l'eau, et par conséquent capable de se séparer de la partie albuminée.

Quand on se rappelle quels services ont rendus à l'architecture, à l'archéologie, à la curiosité enfin, les photographes voyageurs, on ne saurait trop applaudir aux perfectionnements des appareils qui ont pour but d'opérer en rase campagne, qui simplifient le matériel à transporter et suppriment la chambre à manipulations. Les appareils les plus récents sont dus à M. Titus-Albitès et à M. Sabbatier-Blot ; l'appareil de ce dernier ne paraît être toutefois qu'une modification du laboratoire portatif de M. Titus-Albitès.

Sensibilisation de la plaque, tirage, révélation de l'épreuve, telles sont les opérations que l'on exécutera en pleine lumière, avec le même appareil, sans aucun embarras ni précautions minutieuses. Le fixage et le lavage peuvent, sans aucun danger pour l'épreuve, être remis au moment du retour.

Cet appareil se compose d'une boîte rectangulaire divisée en deux par une cloison horizontale : la partie supérieure constitue la chambre noire ordinaire; tandis que le compartiment inférieur est le *laboratoire*. La mise au point étant faite, on remplace le verre dépoli par la glace enduite de collodion simplement ioduré. Le porte-glace est un support mobile dans la direction verticale ; dans sa première position, il domine le bain d'argent que renferme une cuve rectangulaire très-peu large et d'une hauteur égale à celle de la glace ; on fera tomber cette dernière dans le bain en détachant une ficelle placée sur le côté de l'appareil, et on la ramènera dans sa position première en fixant la ficelle au même point : en laissant la glace 30 à 40 secondes dans le bain d'argent, elle sera sensibilisée. Dès qu'elle est remontée, la pose commence ; le tirage terminé, il faut révéler. A cet effet, on pousse un bouton qui se trouve sur le côté de la boîte, on tire à soi la porte du laboratoire, ce qui détermine un mouvement de bascule par suite duquel la glace est projetée dans le bain révélateur au sulfate de fer; ce

dernier est contenu dans une cuve divisée par des rainures destinées à caser les différentes glaces sur lesquelles on aura opéré pendant le cours de l'excursion. A l'aide d'une crémaillère, on recule la cuve pour mettre la seconde rainure à même de recevoir la seconde glace. — Le séjour des clichés dans le sulfate de fer ne leur nuit nullement ; on peut les y laisser plusieurs heures sans qu'il en résulte aucun dommage ; en outre, à partir de ce moment de l'opération, les clichés encore dans le bain peuvent voir la lumière ; on ne court le risque que de les tirer un peu fort, ce qu'il est aisé de corriger avec le bain de fixage. L'appareil de M. Sabbatier-Blot repose exactement sur le même principe ; seulement le laboratoire est séparé de l'appareil.

M. Meynier s'est vivement occupé des graves inconvénients que présente l'emploi en photographie du cyanure de potassium et de l'hyposulfite de soude. Le premier sel est très-vénéneux ; il y a malheureusement un trop grand nombre d'accidents déplorables causés par son emploi ; le second est susceptible de tacher les épreuves. M. Meynier propose en leur lieu et place le sulfocyanure d'ammonium.

Un négatif bien lavé, sur lequel on verse une solution saturée de sulfocyanure d'ammonium, est fixé presque aussi rapidement qu'avec le cyanure de potassium ; si le lavage fait ensuite paraître un précipité blanc disséminé sur l'épreuve, il suffit de verser rapidement une seconde couche du fixateur pour la faire disparaître. Un lavage rapide termine l'opération du fixage. L'emploi de ce sel est, en outre, bien plus actif que celui de l'hyposulfite de soude, enfin les doigts qui sont imprégnés de sulfocyanure ne tachent pas les épreuves.

Nous avons dit souvent que le problème le plus intéressant à résoudre pour la photographie était son application à la gravure. Sans revenir sur ce que nous avons déjà écrit sur ce sujet dans l'*Annuaire scientifique* de 1862, nous nous bornons à résumer la méthode photolithographique que vient d'imaginer M. Morvan.

Ce procédé permet de reproduire sur pierre lithographique toute espèce de dessins, cartes et plans gravés, imprimés ou manuscrits. La pierre lithographique est recouverte, au blaireau, d'une couche mince de vernis, composé de 50 gr. de bichromate d'ammoniaque, 500 gr. d'eau, 300 gr. d'albumine. Quand la surface est sèche, on l'expose à la lumière sous la gravure ou le

dessin à reproduire. Le temps d'exposition dépend de l'épaisseur du cliché et de l'intensité de la lumière ; mais on peut dire qu'il faut, en moyenne, 2 à 3 minutes en plein soleil et 10 minutes à l'ombre. On rentre alors dans le cabinet obscur, on enlève le cliché; rien n'est visible sur la pierre. On lave la surface avec une dissolution de savon ; les parties solubles (c'est-à-dire celles qui n'ont pas vu la lumière) sont entraînées, et la pierre se creuse légèrement en ces endroits ainsi mis à nu ; tandis que, partout où la lumière a donné, l'oxyde de chrome formé, étant insoluble, résiste à l'action du savon. L'image apparaît alors. On procède ensuite à l'encrage; on étend une couche d'eau sur la pierre, puis on passe le rouleau d'imprimerie imprégné d'encre grasse; celle-ci ne peut rester adhérente qu'aux parties creuses, elle est repoussée par l'eau restée sur les reliefs ; les creux fourniront donc les *noirs* du dessin et les reliefs les *blancs*. Or les parties creuses correspondent aux noirs du cliché employé et *vice versâ*, il y a donc identité absolue entre la reproduction et le modèle : et ce procédé permet ainsi d'obtenir directement une reproduction positive, c'est-à-dire sans renversement de tons, et, de plus, droite par rapport au modèle. En laissant la pierre reposer sous le savon, on arrive graduellement à forcer le creux jusqu'au degré convenable pour le tirage. M. Morvan nous a montré des cartes géographiques dont la finesse ne laisse rien à désirer, des reproductions d'écritures, de dessins, de photographies, et nous sommes persuadé que cette nouvelle méthode est appelée à jouer un rôle important dans la typographie.

M. de Lucy a exposé cette année des épreuves différemment nuancées ; nombre de visiteurs y ont été pris et ont attribué ces couleurs au pinceau de l'artiste ; aussi passaient-ils dédaigneusement devant ces photographies colorées, pensant avec raison que l'on pouvait mieux faire. Que ces personnes se détrompent, M. de Lucy colorie ses épreuves à l'aide de *réactions physico-chimiques*, et non avec sa palette (quoiqu'il sache s'en servir avec talent). Si l'on dépose des couleurs sur une photographie, on perd le modelé de l'épreuve et l'on fait d'une photographie peut-être bonne une mauvaise peinture. Mais, en nuançant diversement l'épreuve par des réactions qui s'effectuent dans le bain lui-même, on est certain de ne pas détruire la finesse primitive, tout en atteignant le but désiré.

Les nuances que l'auteur recommande comme les plus aisées

à obtenir et les plus satisfaisantes, quant à l'effet produit, sont : le *rouge*, le *bleu*, le *jaune*, la *nuance chair*. Le rouge est donné par le chlorure de sodium, le bleu par le chlorure de cobalt, le marron par le cyanure de potassium ; la couleur chair s'obtient à l'aide d'un bain dont la composition est complexe : c'est un mélange de chlorure de sodium, de potasse et d'acétate de plomb ; on arrive à des tons différents en faisant varier les proportions de ces substances. Le mode d'opérer est des plus faciles à saisir : la sensibilisation de la glace et le tirage de l'épreuve s'exécutent comme à l'ordinaire ; puis, avec un pinceau, on applique sur l'épreuve les dissolutions colorantes aux points convenables : aucun effet ne se manifeste encore ; on soumet l'épreuve au bain de virage, et c'est alors que les couleurs se révèlent et s'élèvent, comme ton, à mesure que l'on prolonge le temps d'immersion dans le bain ; on passe enfin à l'hyposulfite de soude.

La pratique de ce procédé exige, d'abord, quelques tâtonnements ; mais la question nous semble assez intéressante pour fixer l'attention des photographes ; car c'est un procédé chimique qui peut suppléer, jusqu'à sa découverte, à ce grand *desideratum* de l'art : *la fixation des couleurs*.

Nous avons déjà parlé, il y a deux ans, des *stanhopes*. M. Dagron, qui s'occupe surtout de ces photographies microscopiques, a eu l'idée de les monter sur pierres précieuses transparentes. On avait déjà cherché à incorporer ce genre de photographie dans les pierres précieuses transparentes ; mais on n'y était parvenu qu'en les fendant, en intercalant l'épreuve faite sur verre, rejoignant enfin le tout à l'aide d'un agent fixateur. M. Dagron opère de façon à ne pas endommager la pierre ; il taille une des extrémités en objectif (un point suffit) ; le verre qui porte la photographie est appliqué à la partie opposée, et le tout encastré dans la monture. En regardant au travers de l'objectif, on aperçoit l'épreuve colorée d'après la nuance propre de la pierre.

La passion des petits portraits photographiques est encore dans toute sa fureur ; M. Schïertz la tuera peut-être par la satiété. On range les photographies dans un appareil identique, quant à sa forme, à un stéréoscope à plusieurs vues. Un même cadre supporte trois épreuves, observées à l'aide d'une large lentille achromatique mise au lieu et place des œilletons binoculaires du stéréoscope ; ces images apparaissent alors amplifiées et très-nettes.

Imaginez que, dans la même boîte, il y ait 15 ou 20 cadres à trois branches tournant autour du même axe, la manœuvre s'effectuant à l'aide d'un bouton placé convenablement, on verra 45 ou 60 épreuves, sans autre peine que de mettre la lentille à son point et de mouvoir le bouton.

L'inventeur construit des appareils pouvant contenir 600 épreuves, — une belle collection! Nous avons proposé à M. Schiertz de baptiser son appareil *Eicoscope*. Que ce nom barbare lui soit propice!

Ernest Saint-Edme.

III

LA SCIENCE AU THÉATRE

La lumière de Drummond. — La bobine d'induction et les bougies du *Pied de Mouton*. — Les spectres. — Le miroir magique de la Vérité.

Nous avons déjà insisté, dans l'*Annuaire* de 1862, sur les brillantes applications qu'avait reçues au théâtre la lumière électrique, et nous ne serions pas revenus sur ce sujet si différents effets optiques curieux n'avaient obtenu, dans le cours de cette année, un succès mérité.

L'arc voltaïque a trouvé un sérieux concurrent dans la lumière de Drummond, produite comme chacun sait par l'incandescence d'un fragment de chaux porté à une température très-élevée au moyen d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène.

Les premiers débuts de la lumière Drummond au théâtre ne furent pas cependant couronnés de succès. C'est en 1836 que M. Lormier proposa son emploi à l'Opéra : à cette époque, le gaz d'éclairage n'existant pas sur la scène, il fallait préparer sur place l'oxygène et l'hydrogène. On allumait directement le mélange des deux gaz, opéré d'avance dans un gazomètre ; on s'exposait ainsi à des explosions dangereuses, qui se produisirent, en effet, et occasionnèrent des accidents assez graves pour faire abandonner ce mode d'éclairage.

Aujourd'hui, cette source lumineuse reparaît au théâtre ; elle

n'a changé ni dans sa nature, ni dans son pouvoir éclairant, mais son mode de production est singulièrement perfectionné. L'oxygène est apporté sur place dans un sac de caoutchouc; un conducteur de même substance va puiser le gaz d'éclairage au robinet le plus proche, et les deux gaz ne se mélangent qu'au sortir de l'ajutage, quand leur flamme darde sur le cylindre de chaux vive. Aucune explosion n'est donc à redouter; aucun appareil de chimie encombrant, difficile à manier, n'est introduit sur la scène, et l'opération ne présente plus aucune difficulté.

Par son éclat, la lumière de Drummond est intermédiaire entre l'arc voltaïque et la flamme du gaz; elle est donc employée quand la lumière électrique est jugée trop vive, quand un jeu même considérable de becs de gaz est insuffisant. Ainsi, les clairs de lune, les émissions de lumière colorée, s'exécutent avec elle avec avantage. Mais, si l'effet lumineux doit embrasser un grand espace, éclairer plusieurs personnages, il faudrait multiplier le nombre de becs, et alors la dépense devient supérieure à celle que nécessite l'arc voltaïque.

Le succès de l'étincelle d'induction a suivi de près celui de la lumière électrique; les effets obtenus à l'aide de la bobine d'induction ont éveillé la plus vive curiosité.

On se rappelle peut-être encore le succès qu'obtint au théâtre de la Porte-Saint-Martin le flambeau magique du *Pied de Mouton;* les étincelles électriques éclatent entre des conducteurs placés un peu au-dessus des mèches qui plongent dans un liquide volatil inflammable. Les flacons qui contiennent ce liquide sont enveloppés de cylindres de porcelaine, imitant parfaitement des bougies : le flambeau est à deux branches, et, à l'aide d'un commutateur, des fils conducteurs invisibles aux spectateurs distribuent les étincelles de façon à allumer l'une ou l'autre des bougies.

Dans l'étude que nous avons consacrée l'an dernier aux *courants d'induction*, nous avons parlé des *tubes de Geissler* et de certaines de leurs applications; nous sommes étonnés que les lumières de teintes variées qui s'y allument n'aient pas encore été employées au théâtre, leur succès serait certain.

Les *spectres* sont, à coup sûr, le plus grand succès qui ait été obtenu jusqu'à présent sur la scène. Bien que l'observation sur laquelle reposent les singuliers effets obtenus soit ancienne, et qu'il paraisse difficile d'attribuer sûrement à une personne ou à une

autre le mérite de l'invention, M. Robin et M. Hostein (directeur du théâtre impérial du Châtelet) sont, à Paris, les premiers vulgarisateurs de ce phénomène d'optique, qui a été reproduit bientôt de tous côtés.

Il n'y a pas six mois que, sur toutes les affiches de théâtre, on apercevait des spectres rouges, noirs, blancs, élevant leurs bras décharnés, et promettant, par leur aspect terrible, les plus vives émotions aux naïfs spectateurs. Les spectres, chacun le sait aujourd'hui, sont des images réfléchies par une glace.

Au théâtre du Châtelet, l'expérience nous a paru très-bien réussie : trois glaces sans tain, de $8^m,45$ de longueur sur $4^m,40$ de hauteur, sont encastrées dans un même cadre, et inclinées à 45° par rapport au plan de la scène. (Il est essentiel d'opérer avec des *glaces* et non avec du *verre*; car la surface réfléchissante doit être d'une pureté rigoureuse, la moindre aspérité détruisant une partie de la netteté de l'image). Un vide est pratiqué sur l'avant de la scène, près de l'orchestre. Là se placent les personnages dont les images doivent être réfléchies par les glaces, pour reproduire les apparitions. Leur position, par rapport à l'inclinaison des glaces, doit être telle que les images soient rigoureusement verticales et en contact avec le plancher de la scène, pour les spectateurs placés à l'orchestre et à la première galerie : à mesure que les spectateurs montent aux places plus élevées, tout en restant verticales, les images semblent quitter terre. Quant à l'éclairage des *sujets*, on concentre sur eux, à l'aide d'un système lenticulaire, la *lumière Drummond*, et c'est en ouvrant puis fermant l'appareil éclairant à l'aide d'un obturateur mobile, que l'on détermine l'apparition ou l'évanouissement subit des images.

L'effet produit est très-facile à comprendre : chacun a été, bien souvent, à même de le remarquer et de le reproduire. Lorsqu'on regarde dans une glace sans tain, l'espace en avant et en arrière étant également éclairé, on ne distingue aucune image des objets environnants, la quantité de lumière réfléchie en avant de la glace étant alors moindre que celle qui éclaire l'autre côté. Vient-on à produire l'obscurité derrière la glace, puis à éclairer vivement un objet dissimulé à la vision directe, son image virtuelle se détachera avec intensité derrière la glace, à la même distance qui sépare cet objet de l'observateur; l'obscurité fait donc office de tain.

Si l'obscurité qui existe derrière la glace n'est pas assez pro-

fonde pour dissimuler un personnage à la vision du spectateur, ce dernier apercevra à la fois l'*acteur réel* et l'*image virtuelle*. Dès lors une scène pourra s'engager entre l'être et le fantôme. Il est essentiel que l'acteur qui doit faire le fantôme soit incliné parallèlement à la glace; s'il est debout, sa tête sera plus près de la glace que ses pieds, et son image paraîtra tombée en avant; c'est ce qu'on n'évite pas toujours, notamment chez M. Robin, où le violoniste couché paraît beaucoup plus naturel que le fameux zouave d'Inkermann ou le banal squelette qui agite assez maladroitement son linceul.

Le *miroir magique* est un truc électrique imaginé par M. J. Duboscq au théâtre des Variétés pour cette pièce court-vêtue où se promenait la Vérité. Au foyer d'un miroir concave se rencontrent les pointes de charbon entre lesquelles doit se former l'arc voltaïque. Le charbon supérieur est fixe, mais le conducteur inférieur est mobile au contraire et peut recevoir un mouvement de recul par l'attraction d'une tige de fer doux, aimantée tout à coup par une hélice magnétisante que traverse le courant de la pile

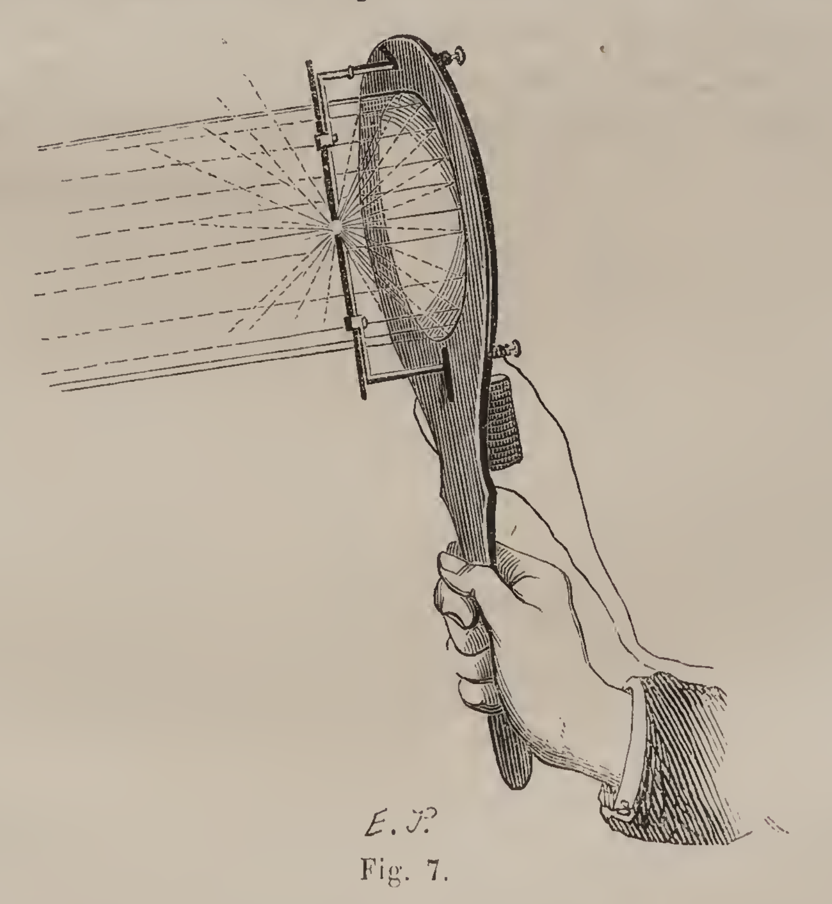


Fig. 7.

destiné à produire l'arc lumineux. Quand l'acteur, dans une demi-obscurité, tient le miroir à la main, le public ne distingue pas

les charbons qui sont en avant du miroir, qui apparaît comme une surface plane ordinaire; mais, au moment où l'acteur, à l'aide d'un bouton, ferme le circuit, l'hélice magnétisante (que l'on aperçoit dans notre figure derrière le miroir) attire le fer doux qui est fixé au charbon inférieur, celui-ci recule; le contact des charbons se trouvant rompu, l'arc lumineux jaillit, et le miroir réfléchit un faisceau parallèle. Les pointes des charbons étant placées au foyer principal du miroir, leur image n'est pas perçue des spectateurs, qui, du reste, sont trop influencés par cette vive lumière pour distinguer les parties accessoires d'un miroir.

Ces quelques exemples prouvent que l'*art de la mise en scène* a tout à gagner dans les emprunts qu'il fera aux sciences expérimentales; la Chimie, la Physique, l'Électricité offrent des mines d'expériences d'un succès certain auprès d'un public en général peu familiarisé avec les opérations que connaissent les auditeurs des cours publics. Il y aura à cette alliance double profit : les trucs grossiers qui encombrent encore aujourd'hui les pièces dites à effets disparaîtront pour toujours, et peut-être réussira-t-on à éveiller, sinon l'intérêt, du moins la curiosité du public, pour la science dont les résultats matériels auront excité son étonnement.

ERNEST SAINT-EDME.

CHIMIE APPLIQUÉE

LES PÉTROLES D'AMÉRIQUE

I

Utilisation de la chaleur centrale du globe terrestre. — L'extraction de l'acide borique en Toscane. — Ce qu'on peut espérer. — Distillation des houilles et des schistes.

Les éruptions des volcans, les torrents de matières incandescentes qui découlent de temps à autre de leurs cratères toujours béants, la température élevée des sources thermales, ont démontré depuis longtemps aux géologues que le noyau central de la terre sur lequel repose la croûte solidifiée que nous habitons devait être encore à une température extrêmement élevée. Il est certainement singulier que l'homme, qui tire toute la force qu'il emploie de la chaleur du Soleil, situé à des millions de lieues, n'ait encore que très-peu utilisé celle qui gît sous ses pieds. La force motrice de l'homme et des animaux, celle que fournit la chaleur condensée dans les végétaux de l'époque actuelle, ou emmagasinée dans ceux qui ont formé la houille aux âges précédents provient encore du soleil ; les cours d'eau, qui nous fournissent une puissance considérable et peu coûteuse, sont alimentés par les pluies, dans lesquelles se résolvent les vapeurs dont la chaleur solaire avait provoqué la formation ; les vents, enfin, sont dus aux raréfactions inégales de l'air, sous l'influence de la chaleur du soleil.

C'est donc cet astre situé à des millions de lieues qui nous fournit chaleur et force, tandis que le globe que nous habitons qui recèle en lui des quantités de chaleurs immenses, ne concourt ni aux travaux de notre industrie, ni à notre bien-être. A part les sources thermales dont la médecine fait chaque jour un em-

ploi plus fréquent, et une industrie médiocrement importante établie en Toscane, la chaleur centrale reste inutile. En sera-t-il toujours ainsi ? On peut presque à coup sûr répondre que non. Un temps viendra certainement où les mines de houille s'épuiseront et où l'homme devra songer à les remplacer ; il y arrivera sans doute quand le forage des puits sera arrivé à un degré de perfection qu'il est loin d'atteindre aujourd'hui.

A mesure qu'on pénètre plus avant dans les entrailles de la terre on rencontre une température plus élevée, l'eau de quelques-uns de nos puits artésiens est déjà à une chaleur assez notable, et quand on s'impatientait, lors du forage du puits de Grenelle, de ne pas atteindre l'eau après de longs travaux, Arago disait : « Tant mieux, nous l'aurons plus chaude, je veux avoir de l'eau chaude pour baigner tout Paris. »

Il ne faudrait pas prendre cette parole pour une boutade paradoxale, elle renferme une grande idée, et il suffit de réfléchir un instant à la théorie des puits artésiens pour comprendre qu'il est possible qu'on arrive un jour, par un coup de sonde heureux, à rencontrer des eaux à une température assez élevée pour que, répandues continuellement dans la ville, elles puissent y arriver à 30° ou 35°, chaleur habituelle des bains. Les puits artésiens sont dus, en effet, à des eaux pluviales qui tombent sur des terrains perméables et s'y enfoncent en suivant la base inférieure de ces terrains à leur limite avec des couches argileuses qui les retiennent et les empêchent de s'infiltrer plus profondément. Ces couches peuvent avoir une disposition en forme de bateau qu'on rencontre fréquemment, elles peuvent ainsi s'enfoncer profondément à trois ou quatre kilomètres au-dessous de la surface du globe, puis ensuite se redresser, de telle sorte qu'en certains points elles ne soient plus distantes de la surface que de quelques centaines de mètres ; si on perce alors les terrains qui séparent les couches aquifères de la surface, l'eau, tendant à reprendre son niveau, peut remonter dans le trou de sonde et y arriver à une température élevée.

On conçoit même qu'on imite artificiellement ce que produit la nature, et que les moyens de nos ingénieurs allant en croissant de puissance, il soit possible un jour d'exécuter des fouilles assez profondes pour atteindre une température de 50 ou 60° ; on pourrait alors précipiter dans ces cavités profondes l'eau prise à la surface à un fleuve ou à une source, et la laisser séjourner assez

longtemps pour qu'elle prît la température de ce milieu, puis la remonter à la surface à l'aide de pompes.

Mais nous n'en sommes pas encore là, nous avons encore de la houille pour de longues années, et il est plus économique aujourd'hui de l'employer; toutefois on a rencontré récemment un produit provenant de l'action de la chaleur centrale sur les masses végétales enfouies et carbonisées, et c'est de ce produit que nous voulons maintenant entretenir le lecteur.

Les géologues ne sont pas encore complétement d'accord sur l'origine des huiles minérales qu'on extrait depuis quelques années en quantités considérables en Amérique, notamment au Canada et aux États-Unis. Suivant M. Herry Hunt[1], les bitumes et les huiles bitumineuses proviendraient surtout de la décomposition ignée de plantes marines enfouies depuis des temps reculés dans les couches où nous trouvons aujourd'hui les produits de leur décomposition.

II

Gisement des huiles d'Amérique. — Extraction. — Prix de revient. — Leurs avantages, leur inconvénient, leur avenir.

« L'existence des sources minérales était presque inconnue aux États-Unis jusqu'en 1845[2], lorsque, en creusant un puits pour chercher de l'eau salée, à Torentum, 35 milles anglais au-dessus de Pittsburg, dans les monts Alleghanys, on rencontra une source d'huile minérale. Quelques expériences ayant démontré que cette huile était tout à fait analogue à celle qu'on obtenait par la distillation de la houille, une compagnie fut constituée à New-York pour en opérer la purification par les procédés employés pour le traitement des huiles de houille artificielles. »

Mais l'entreprise n'eut guère de succès, cependant, en 1857, on recommença les travaux, et en 1859 on découvrit à Titosulle, près d'Oil-Creek une source qui fournissait 1.800 litres d'eau minérale par jour. « L'éveil fut donné, et à la fin de 1860 on comptait près de 2,000 sources ou puits, dont 74 des plus importantes produisaient, à l'aide de pompes, environ 1,165 barriques de

[1] *Chemical News*, p. 1 et 16. 1862.

[2] Nous empruntons les détails suivants à un excellent article de M. L. Kopp. — *Répertoire de chimie appliquée* de M. Bareswil, 1862, p. 408.

190 litres chacune, d'huile brute valant environ 10,000 dollars (50,000 francs), à 1 fr. le galon (le litre et demi). Bientôt après on creusa des puits à la profondeur de 170 à 200 mètres, et l'abondance d'huile devint telle, qu'une seule source, à la vérité la plus riche, dut fournir jusqu'à 3,000 barriques par jour; d'autres sources, plus pauvres, ne donnaient que 15 à 20 barriques. En plusieurs occasions le jet d'huile se montra si violent qu'il fallut employer des moyens puissants pour s'en rendre maître. Enfin un terrible incendie éclata dans ces régions, par suite de l'inflammation de l'huile d'une source surabondante, inflammation qui se propagea à d'autres sources et sur une très-grande étendue.

« Aujourd'hui toutes ces sources sont encaissées et maintenues au moyen de forts tuyaux en fonte, capables d'être fermés hermétiquement, et l'on n'en laisse écouler l'huile que proportionnellement à la demande et à l'état du marché. La quantité d'huile expédiée de la région des sources par le chemin de fer de Sunbury et d'Érié s'éleva de 325 barriques, en 1859, à 134,927, en 1861. Dans cette même année, près de 500,000 barriques furent transportées par eau. Le rendement actuel des sources peut être estimé à 47 ou 57 millions de litres par semaine. En quatre mois, janvier-mai 1862, les deux ports de New-York et de Philadelphie ont expédié pour 4 millions de francs d'huile.

« Les prix ont fortement baissé dans ces derniers temps. En janvier 1862, le gallon d'huile brute valait 1 fr. 15 à 1 fr. 20, et l'huile purifiée 1 fr. 90 à 2 fr. 50 En dernier lieu, le gallon de la première ne valait plus, dans les ports de mer, que 45 centimes, et de la dernière que 95 centimes à 1 franc. Sur les lieux d'extraction, la valeur de la barrique d'huile brute est d'environ 1 dollar, c'est-à-dire à peu près 5 centimes le litre. »

Au Canada, on a aussi trouvé des sources importantes. On estime que l'installation d'un puits, d'une pompe et des accessoires, revient en moyenne à 2,500 francs, et qu'un ouvrier peut, lorsque le travail est organisé, extraire environ en une journée du prix de 1 dollar 4,000 gallons (18,172 litres).

On voit donc que l'Amérique est à même de fournir des quantités énormes de ces produits, et de faire ainsi une concurrence redoutable à nos industries européennes, aux huiles de schiste et même à nos huiles végétales, et à nos fabrications de bougie, tant sont variés les produits qu'on peut extraire des huiles

brutes. L'importance qu'a prise déjà en Europe l'éclairage au pétrole a déterminé une baisse importante dans le prix de l'huile de colza, et on nous assure que les soles destinées au colza, dans la campagne prochaine, ont diminué d'étendue dans le nord de la France et en Belgique.

On peut comparer les pétroléines d'Amérique au goudron minéral de Rongeon, qui est traité industriellement depuis quelques années, et on pourra sans doute extraire de celles-là des produits analogues à ceux que fournit celui-ci. Passons donc en revue les matières nombreuses qu'on en peut tirer.

Une distillation exécutée à l'aide de la vapeur d'eau à 100° fournit d'abord un mélange d'hydrocarbures liquides incolores très-fluides, non-solidifiables, qui forment environ le quart de la masse totale. Les essences les plus légères, qu'on peut séparer par une seconde distillation de ce premier produit, peuvent servir comme la benzine à enlever les taches de graisse sur les étoffes ; il est probable qu'on pourra les plier aux mêmes usages que le sulfure de carbone, car elles dissolvent non-seulement les matières grasses, mais aussi le caoutchouc. Si elles diminuent l'emploi d'un produit dangereux et malsain, elles auront rendu un véritable service à l'industrie, qui ne pourra reculer devant leur inflammabilité, car les pétroles ne seront jamais aussi combustibles que le sulfure de carbone, un des liquides les plus inflammables qui existent.

Les produits moins volatils provenant de la première distillation peuvent servir à l'éclairage et doivent être brûlés dans les lampes à schiste.

Il résulte d'un travail entrepris récemment à l'École polytechnique, publié par M. Boilley[1], que les huiles rectifiées propres à l'éclairage, distillant entre 120 et 350°, forment 60 pour 100 en volume de l'huile brute de Pensylvanie.

On ajoute aux matières qui restent dans l'alambic, après la première distillation, de l'acide sulfurique qui sépare de la masse un dépôt noir abondant. On le laisse se tasser ; on décante le liquide clair et assez limpide, qu'on transporte de nouveau dans les appareils distillatoires. On l'y distille avec le secours de vapeur surchauffée, dont on élève la température de 150 à 300°.

[1] *Répertoire de chimie appliquée*, août 1862, p. 304.

Des produits distillés au-dessus de 220° il se dépose la matière paraffineuse à laquelle on a donné le nom de *belmontine;* après expression d'abord à froid, puis dans des presses hydrauliques chauffées, cette matière sert à la fabrication de magnifiques bougies qui brûlent avec une flamme des plus claires et des plus éclairantes, et qui peuvent supporter la comparaison avec les plus belles bougies stéariques ou de spermaceti. Les huiles dont cette paraffine s'est déposée servent comme huiles à graisser d'un excellent emploi, puisqu'elles ne sont nullement sujettes à l'oxydation. On peut également s'en servir pour l'éclairage en les brûlant dans des lampes ordinaires (quinquets modérateurs ou lampes d'Argant).

Si les huiles minérales se prêtent ainsi à de nombreux emplois, si, au premier abord, on peut croire qu'elles vont se répandre rapidement dans les usages domestiques, on doit cependant se rappeler qu'elles présentent quelques graves inconvénients; elles présentent une odeur forte, désagréable, qui a empêché déjà les progrès de la consommation des huiles de schiste; ces matières enfin, assez volatiles, très-inflammables, présentent de nombreuses chances d'incendie; on est épouvanté quand on songe aux accidents qui peuvent survenir si une lampe fragile, peut, en se renversant, couvrir de flammes la personne qui la transporte d'un point à l'autre d'un appartement.

Il est à remarquer que les huiles brutes, renfermant un gaz qui se dégage déjà vers 35°, sont plus inflammables que les huiles rectifiées; d'après les expériences de M. Boilley, les pétroles distillés seraient moins inflammables que l'éther et le sulfure de carbone, mais plus que l'alcool et l'essence de térébenthine. Confier une matière plus inflammable que l'alcool aux mains imprudente d'une servante; exposer des enfants turbulents à renverser un vase rempli d'un liquide qui prend feu au contact d'une allumette, est donc, nous le répétons, de la plus grave imprudence.

Il serait téméraire, cependant, d'en conclure que les huiles minérales n'arriveront pas à lutter avec les matières que nous employons aujourd'hui pour l'éclairage; on pourra peut-être s'habituer à l'odeur désagréable des pétroles, comme on s'est habitué à celle du gaz; on trouvera peut-être le moyen de construire des lampes assez stables pour que les chances d'incendie soient beaucoup diminuées. Et quand bien même ce dernier point ne serait pas réalisé, il ne nous paraît pas possible que le public résiste à

l'attrait du bon marché excessif de ce mode d'éclairage, qui, à égalité d'éclat, détermine une dépense moitié et parfois de quatre fois moins forte que celle qui suit l'usage des bougies stéariques; l'éclairage au pétrole serait même près de moitié moins coûteux que l'éclairage aux chandelles de suif.

Les pétroles, très-volatils, pourraient encore être utilisés pour donner au gaz hydrogène extrait de l'eau, par sa décomposition au moyen du fer ou du charbon, le pouvoir éclairant qui lui manque; ces hydrocarbures seraient facilement entraînés par un courant de gaz hydrogène, et on obtiendrait sans doute une lumière présentant un grand éclat. Par lui-même, au reste, le pétrole peut donner un gaz d'éclairage dont la combustion est très-lumineuse. En échauffant l'huile de pétrole dans une cornue à gaz en fer, où elle est introduite par un tube horizontal percé de petites ouvertures, on peut obtenir une quantité de gaz éclairant considérable. — Dans une opération on obtint avec 2,100 grammes d'huile de pétrole plus de 18 hectolitres de gaz, dont le pouvoir éclairant fut trouvé supérieur à celui du gaz de la houille; en effet, en brûlant un peu plus d'un hectolitre par heure, l'éclat fut trouvé comparable à celui de 24 ou 25 bougies stéariques, tandis que le gaz de la houille présente, dans les mêmes conditions, un éclat comparable seulement à celui de 12 bougies stéariques; le volume du gaz obtenu par la houille est seulement à peu près le tiers de celui qui donne le pétrole, et comme il a un pouvoir éclairant moitié, il en résulte que 1 de pétrole constitue l'équivalent éclairant de 6,36 de houille.

Ainsi les huiles de pétrole présentent donc un grand nombre d'emplois différents; elles peuvent se plier à plusieurs usages et, malgré leurs inconvénients, il est possible qu'elles aient un bel avenir industriel. Il est rare, en effet, qu'on puisse extraire d'un même produit naturel un gaz d'éclairage, un liquide volatil rendant très-lumineux le gaz hydrogène, un dissolvant des corps gras, un liquide propre lui-même à l'éclairage, enfin des matières solides blanches et combustibles comme nos bougies stéariques. On ne saurait toutefois apporter trop de réserve dans les prévisions qu'on émet sur de semblables sujets, et de même qu'il faut signaler les dangers des innovations, de même il faut se garder d'exagérer les difficultés des entreprises naissantes. Nous avons entre les mains une preuve remarquable de la confu-

sion qui attend parfois les auteurs de ces jugements téméraires. Lorsqu'en 1820 il s'est agi d'organiser l'éclairage de Paris avec le gaz qu'on extrait de la houille, plusieurs opinions différentes furent formulées, et un chimiste manufacturier, dont le nom conserve encore une certaine notoriété, publia une brochure dans laquelle il s'efforçait de démontrer que l'idée d'éclairer la ville de Paris au gaz est complétement chimérique. — Nous savons où en est aujourd'hui cette prévision.

III

Espèces chimiques contenues dans les huiles de pétrole. — Admirable série des hydrogènes carbonés des alcools monoatomiques. — Recherches de MM. Pelouze et Cahours.

Nous avons entretenu le lecteur de l'*Annuaire de* 1863 de l'admirable régularité que présentait la classe des alcools monoatomiques, et nous avons vu comment plusieurs des vides qui existaient encore dans ce vaste cadre, où chaque substance prend une place bien déterminée, avaient été comblés pendant l'année 1862.

Nous avons vu qué, si on représente un alcool monoatomique par la formule $C^{2n} H^{2n+2} O^2$, on pouvait, en donnant successivement à n les valeurs 1, 2, 3, 4, 5, trouver dans différents produits artificiels les matières correspondant à ces compositions ; ainsi nous aurons :

n = 1. $C^2H^4O^2$ esprit de bois ou alcool méthylique.
n = 2. $C^4H^6O^2$ esprit-de-vin ou alcool éthylique.
n = 3. $C^6H^8O^2$ alcool propionique.
n = 4. $C^8H^{10}O^2$ alcool butylique.
n = 5. $C^{10}H^{12}O^2$ alcool amylique.
n = 6. . . . .
n = 7. . . . .
n = 8. $C^{16}H^{18}O^2$ alcool caprylique.

Les deux termes manquants ont été trouvés l'an dernier, l'alcool œnanthylique, qui occupe le septième rang, puisqu'il présente la formule $C^{14} H^{16} O^2$, par MM. Bouis et Carlet, par une méthode fort élégante que nous avons décrite l'an dernier, et l'alcool caproylique $C^{12} H^{14} O^2$, par MM. Pelouze et Cahours. Nous avons indiqué quel était le procédé qu'ils avaient employé ; mais comme

ce procédé est d'une application très-générale, qu'il promet la plus riche moisson; qu'on peut espérer, en en faisant usage, de compléter la série des alcools monoatomiques, il importe de le préciser de nouveau.

Les chimistes connaissent depuis longtemps un gaz qui se dégage des marais, qui, confiné entre les couches de houille, s'en échappe quand elles sont percées par le pic du mineur, qu'on peut enfin obtenir artificiellement en chauffant l'acétate de soude avec un excès de chaux ou de baryte ; ce gaz est désigné sous le nom de gaz des marais ou encore d'*hydrure de méthyle*. Ce dernier nom est un peu barbare et demande une explication ; nous avons indiqué l'an dernier les singulières propriétés que présentent les alcools ; nous avons vu que, mis en contact avec des acides, ils pouvaient s'y combiner en dégageant de l'eau, et produire des substances nommées éthers composés, absolument neutres aux réactifs colorés, et dans lesquelles les propriétés de l'acide étaient aussi complétement masquées que lorsqu'il s'unit avec une base énergique.

Ainsi il y aura parallélisme complet entre les deux actions suivantes :

$$\underbrace{KO.HO}_{\text{Hydrate de potasse.}} + \underbrace{C^4H^4O^4}_{\text{Acide acétique.}} = \underbrace{2HO}_{\text{Eau.}} + \underbrace{C^4H^3O^3KO}_{\text{Acétate de potasse.}}$$

$$\underbrace{C^2H^3O.HO}_{\text{Hydrate d'oxyde de méthyle ou alcool méthylique.}} + \underbrace{C^4H^4O^4}_{\text{Acide acétique.}} = \underbrace{2HO}_{\text{Eau.}} + \underbrace{C^4H^3O^3C^2H^3O}_{\text{Acétate d'oxyde de méthyle.}}$$

Aussi pourra-t-on considérer un alcool comme l'hydrate de l'oxyde d'un radical particulier, d'un corps composé jouant le rôle d'un corps simple, de métal, et on désignera indifféremment cet alcool sous son nom d'alcool méthylique ou sous celui d'hydrate d'oxyde de méthyle, nom excellent, puisqu'il permet de prévoir une des métamorphoses les plus habituelles de la substance qu'il désigne.

Le méthyle C^2H^3 peut être combiné à l'oxygène, et c'est l'oxyde de méthyle C^2H^3O, au chlore, et c'est le chlorure de méthyle C^2H^3Cl, et enfin à l'hydrogène, pour produire la combinaison connue sous le nom de gaz des marais ou encore d'hydrure de méthyle C^2H^3H ou plus simplement C^2H^4,

On peut facilement métamorphoser le gaz des marais en chlorure de méthyle, en le mettant en contact avec du chlore, qui enlève une partie d'hydrogène pour venir prendre sa place :

C^2H^3H	+	$2Cl$	=	C^2H^3Cl	+	HCl
Hydrate de méthyle.		Chlore.		Chlorure de méthyle.		Acide chlorhydrique.

et avec le chlorure de méthyle, il est possible d'obtenir l'alcool méthylique, il suffit pour cela de décomposer le chlorure de méthyle avec de la potasse hydratée ; on obtient une combinaison entre le chlore et le potassium, et en même temps l'hydrate d'oxyde de méthyle ou alcool méthylique ; l'équation suivante rend compte de cette réaction.

C^2H^3Cl	+	$KO.HO$	=	KCl	+	$C^2H^3O.HO$
Chlorure de méthyle.		Hydrate de potasse.		Chlorure de potassium.		Hydrate d'oxyde de méthyle.

Or, ces réactions n'ont rien de particulier au chlorure de méthyle, et, si on rencontre dans les pétroles d'Amérique, comme l'ont fait MM. Pelouze et Cahours, des substances d'une composition analogue à celle du gaz des marais, c'est-à-dire renfermant $C^{2n}H^{2n+2}$, on pourra sans doute en tirer, par l'action du chlore, un composé $C^{2n}H^{2n+1}Cl$, qui, traité lui-même par la potasse, fournira l'alcool $C^{2n}H^{2n+2}O^2$.

L'an dernier, en distillant avec précaution les huiles de pétrole, MM. Pelouze et Cahours en avait tiré l'hydrogène carboné $C^{12}H^{14}$ qu'ils avaient désigné sous le nom d'hydrure de caproyle ; ce composé leur a fourni l'alcool caproylique $C^{12}H^{14}O^2$, qui occupe, nous l'avons vu, dans la série précédente, la place n° 6.

Dans leurs recherches récentes, MM. Pelouze et Cahours ont obtenu un certain nombre d'hydrogènes carbonés de la formule $C^{2n}H^{2n+2}$, dont quelques-uns, encore inconnus, permettront de réaliser la formation d'alcools dont l'existence, prévue par la théorie, n'avait pas encore été constatée expérimentalement.

« Un examen attentif, disent les deux savants chimistes [1], des pétroles d'Amérique purifiés par des rectifications exécutées en France, telles qu'on en rencontre aujourd'hui d'assez abondantes

[1] *Comptes rendus*, t. LVI, p. 508. 1863.

quantités dans le commerce, nous a démontré dans ces produits l'existence de deux carbures d'hydrogène plus volatils que l'hydrure de caproyle. L'un bout à quelques degrés seulement au-dessus de 0° et paraît renfermer une certaine quantité d'hydrure de butyle ; le second bout régulièrement à la température de 30°. Ce dernier produit est l'hydrure d'amyle $C^{10}H^{12}$. C'est ce liquide qui dissout parfaitement les matières grasses, et qui pourra être employé avantageusement pour détacher les étoffes.

Il est possible de produire avec ce composé le chlorure d'amyle $C^{10}H^{11}Cl$, puis l'alcool amylique $C^{10}H^{12}O^2$, de sorte qu'une matière obtenue primitivement dans la fermentation de la fécule de pomme de terre peut être préparée aujourd'hui avec ces produits minéraux.

Nous ne voulons pas nous appesantir davantage sur ce sujet, nous dirons seulement qu'en distillant avec patience les pétroles d'Amérique, MM. Pelouze et Cahours ont pu y caractériser les combinaisons suivantes :

C^2H^4	gaz des marais, permanent.			
. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
C^8H^{10}	hydrure	de butyle liquide	bout	à + 2° ou 3°.
$C^{10}H^{12}$	—	d'amyle	—	à 30°.
$C^{12}H^{14}$	—	de caproyle	—	à 68°.
$C^{14}H^{16}$	—	d'œnanthyle	—	de 92° à 94°.
$C^{16}H^{18}$	—	de capryle	—	116° à 118°.
$C^{18}H^{20}$	—	pelargyle	—	136° à 138°.
$C^{20}H^{22}$	—	rutyle	—	160° à 162°.
$C^{22}H^{24}$				180° à 184°.
$C^{24}H^{26}$	—	de lauryle	—	216° à 218°.
$C^{26}H^{28}$ [1]	—	de cocenyle	—	236° à 240°.
$C^{28}H^{30}$	—	de myristyle	—	255° à 260°.
$C^{30}H^{32}$				

Composés qui ont tous donné le corps chloré qui doit mener sûrement à la préparation des alcools correspondants : ainsi on croit que la série des alcools monoatomiques prend par ces recherches une étendue extrêmement remarquable.

« Si l'on songe, disent MM. Pelouze et Cahours, que dans le forage des puits destinés à l'extraction de ces huiles, on a signalé

[1] *Comptes rendus*, t. LVII, p. 62. 1863.

le dégagement constant d'un gaz qui présente tous les caractères du gaz des marais, on voit que, sous l'influence des grands phénomènes géologiques qui ont déterminé la formation de ces substances, il s'est produit une série non interrompue de composés homologues, dont les premiers sont gazeux, tandis que les derniers exigent pour leur volatilisation une température bien supérieure à celle de l'ébullition du mercure, et qui se caractérisent tous par une grande indifférence chimique.

« Quant à la nature des substances qui ont engendré ces produits si divers, on ne saurait avoir des présomptions à leur égard, un même composé pouvant donner naissance à des produits très-variés, suivant les circonstances dans lesquelles s'est opérée sa décomposition. Ces composés, quelle qu'en soit l'origine que nous laissons aux géologues le soin d'établir, ne présentent pas moins un intérêt puissant, lorsqu'on songe qu'on peut les considérer comme le point de départ de combinaisons nombreuses et variées (alcools, aldéhydes, acides ammoniaques, etc.), qui forment la majeure partie des produits de la nature organique. »

P. P. DEHÉRAIN.

AGRICULTURE

ALIMENTATION PUBLIQUE

I

LE PLATRAGE DES TERRES ARABLES

Nous nous sommes occupé, pendant le cours de l'année qui vient de s'écouler, de rechercher la cause du bon effet du plâtre sur les cultures des légumineuses, et, bien que nos expériences soient loin d'être terminées, il nous a paru que les faits qu'elles mettent en lumière ont déjà une importance suffisante pour être présentés au lecteur.

I

Aperçu historique. — Découverte des bons effets du plâtre sur le trèfle, la luzerne et le sainfoin. — Franklin. — Enquête française résumée par Bosc. — Nombreuses hypothèses proposées pour expliquer les effets du sulfate de chaux.

C'est vers le milieu du dix-huitième siècle qu'on découvrit en Allemagne que le plâtre ou sulfate de chaux, désigné encore sous le nom de gypse, possédait une action marquée sur certaines cultures ; on attribue généralement au pasteur Mayer les premiers essais suivis de succès qui eurent pour effet de propager l'emploi du plâtre, jusqu'alors restreint à un petit nombre de localités.

Tscheffeli, en Suisse, Schubart, en Allemagne, et surtout Francklin, prêchèrent d'exemple. On se rappelle que ce dernier imagina une expérience propre à convaincre les plus incrédules. Sur un champ de trèfle placé auprès d'une route très-fréquentée, il répandit du plâtre de façon à former ces mots : « Ceci a été plâtré, » et bientôt les pieds de trèfle plâtrés, plus vigoureux que les autres, répétèrent eux-mêmes, en s'élançant au-dessus de leurs voisins : « Ceci a été platré. » — Après l'indifférence vint

l'engouement ; le plâtre devint un engrais universel, il devait pouvoir remplacer tous les autres, il convenait à toutes les cultures, on ne pouvait s'en passer ; naturellement un dénigrement systématique succéda à ces louanges imméritées, car il arrive habituellement que la passion pénètre dans ce qui lui paraît le plus étranger, et qu'en exaltant une chose outre mesure, on la déconsidère plus qu'elle ne le mérite.

Pour s'éclairer, on résolut en France de se livrer à une enquête qui fut résumée par Bosc et présentée à la Société centrale d'agriculture ; la conclusion la plus importante qui ressort des réponses envoyées à la commission par les cultivateurs interrogés, fut que le plâtre était d'un effet utile sur les prairies artificielles, nul sur les céréales, et qu'il ne pouvait remplacer les engrais organiques, ni l'humus du sol arable. M. Smith et M. de Villèle donnèrent plus tard les résultats d'expériences complètes dans lesquelles on avait pesé la récolte obtenue de deux sols voisins, dont l'un avait été plâtré, tandis que l'autre était à l'état normal ; en général la récolte du trèfle fut doublée ; celle du sainfoin s'accrut aussi considérablement, et la valeur du fourrage obtenu en excès couvrit avec un bénéfice important la dépense nécessitée par le plâtrage.

Ainsi le fait est constant : la récolte du trèfle, de la luzerne et du sainfoin est remarquablement augmentée par l'addition du plâtre. Tout surprenant qu'était ce résultat, il ne pouvait être révoqué en doute, et il posait devant les agronomes un problème dont ils devaient essayer de donner la solution.

L'idée qui se présente le plus naturellement à l'esprit, et que soutint d'abord sir H. Davy, fut que les plantes qui bénéficiaient de l'emploi du plâtre en renfermaient sans doute une quantité notable dans leurs tissus, et que ce sel faisant pour ainsi dire partie intégrante des légumineuses, devait être considéré comme indispensable à leur développement. Malheureusement l'expérience ne confirma en rien cette manière de voir, et les légumineuses renferment une quantité de sulfate de chaux, qui n'est aucunement comparable, par exemple, aux proportions de phosphates qu'on trouve dans toutes les céréales.

M. Liebig proposa ensuite une théorie fort ingénieuse : le chimiste de Munich supposait que l'eau de la pluie, lavant notre atmosphère, s'y charge de sels ammoniacaux, notamment de car-

bonate d'ammoniaque, sel volatil que la putréfaction des nombreuses matières animales qui se décomposent à la surface de la terre doit constamment jeter dans l'air. Ce carbonate d'ammoniaque est volatil, de sorte que, s'il tombe sur un champ avec l'eau de la pluie qui l'amène en dissolution, il peut, lorsque cette eau s'évaporera, s'échapper, se dissiper avec elle dans l'atmosphère, et la terre ne peut en bénéficier; il ne peut être fixé sur le sol et, par suite, servir d'aliment aux plantes, comme il l'aurait fait s'il eût été amené à un état plus stable, si on eût coupé les ailes de l'ammoniaque, pour ainsi dire, en l'engageant dans une combinaison fixe, en l'empêchant de se volatiliser. Ce serait là, d'après le baron de Liebig, l'utilité du plâtre; et quand, en effet, on met en contact au sein d'un liquide du carbonate d'ammoniaque et du sulfate de chaux, il se fait une décomposition mutuelle, les deux acides changent de base, et l'on obtient un mélange de sulfate d'ammoniaque et de carbonate de chaux. L'ammoniaque est dès lors fixée par l'acide sulfurique; elle ne peut plus se volatiser, et le sol a reçu un engrais qu'il ne perdra plus.

Si ingénieuse que soit cette théorie, elle ne supporte pas longtemps la discussion. Il est reconnu, d'abord, que toutes les plantes bénéficient de l'action des sels ammoniacaux, et les céréales, entre autres, croissent avec une vigueur sans pareille dans les sols amendés avec des engrais azotés; pourquoi donc, si le plâtre a pour effet la fixation de ces engrais azotés, n'agit-il pas sur les céréales?

Enfin, M. Boussingault a montré de plus que, si, au moment où l'on mélange dans l'eau le carbonate d'ammoniaque avec le sulfate de chaux, il se fait bien la décomposition signalée par M. Liebig, mais qu'il peut se produire une métamorphose précisément inverse quand le mélange se dessèche; ainsi qu'on agite dans un mortier un mélange de craie et de sulfate d'ammoniaque, et l'on ne tardera pas à reconnaître que le carbonate d'ammoniaque prend naissance de nouveau et se volatilise; l'effet obtenu par l'action du plâtre ne serait donc que provisoire, l'ammoniaque ne serait fixée que momentanément, et elle pourrait bientôt se volatiliser de nouveau, quand la terre redeviendrait sèche.

M. Kuhlmann, enfin, donna une explication de plâtrage des terres arables qu'on reconnait facilement aussi n'être pas satisfaisante; le chimiste de Lille suppose que le plâtre rencontre dans

la terre arable des matières organiques azotées insolubles, et que se décomposant sous l'influence de ces composés riches en principes réducteurs ; il leur cède son oxygène, les brûle en partie et transforme en azotates directement assimilables par les plantes, l'azote engagé dans des combinaisons complexes, insolubles, ne pouvant pas entrer dans les tissus des plantes, que ces matières organiques renfermaient.

Nous avons constaté dans nos expériences que le plâtre est bien en partie décomposé dans la terre arable, mais que cependant il ne se forme pas de nitrates sous son influence, qu'une terre plâtrée ne renferme pas plus d'acide azotique qu'une terre normale laissée dans les mêmes conditions [1].

Au reste, si l'effet du plâtre était de favoriser la nitrification, on ne comprendrait pas comment il n'exerce pas une action favorable sur toutes les plantes, puisque le nitre paraît toujours utile à leur développement.

M. Boussingault, il y a déjà plusieurs années, fit une observation très-importante quand il compara les cendres des plantes plâtrées aux cendres des plantes venues dans une terre normale. Il remarqua d'abord que la chaux se trouvait dans une proportion beaucoup trop grande pour l'acide sulfurique existant dans les cendres ; c'est-à-dire que la chaux trouvée exigeait pour être à l'état de sulfate de chaux, une quantité d'acide sulfurique beaucoup plus forte que celle qui avait été constatée par les analyses. Il fallait donc en conclure que le plâtre n'était pas absorbé en nature et qu'il agissait surtout en fournissant à la plante la chaux dont elle avait besoin.

« En résumé, dit M. Boussingault [2], on voit qu'il est à présumer que le plâtre agit utilement sur les prairies artificielles, en portant de la chaux dans le sol ; c'est là du moins l'opinion qui s'accorde le mieux avec les faits agricoles et les résultats des analyses des cendres des récoltes..... On voit que, malgré les nombreux travaux que nous possédons, la question théorique du plâtrage est loin d'être résolue, et que de nouvelles recherches sont d'autant plus nécessaires que jusqu'à présent la science s'est bornée à rejeter toutes les explications sans rien mettre à la place. »

[1] *Annales du Conservatoire*, juillet 1863, t. IV.
[2] *Économie rurale*, t. II, p. 60, 2e édit. 1851.

II

Expériences exécutées au Conservatoire des Arts-et-Métiers. — Le plâtre favorise la solubilité de la potasse enfouie dans la terre arable. — Nombreuses expériences de vérification.

La question en était là quand je commençai mes recherches à la fin de l'année 1862. Je reconnus d'abord que le plâtre ne favorisait pas la nitrification, qu'il n'augmentait pas la quantité d'ammoniaque toute formée contenue dans la terre arable, et je commençais à ne plus savoir à quoi attribuer les bons effets qu'il exerçait sur la végétation des légumineuses, quand je me rappelai que ces plantes renferment dans leurs cendres une quantité notable de potasse, quand, enfin, en reprenant les travaux de M. Boussingault, je remarquai dans les cendres des plantes plâtrées une quantité de potasse beaucoup plus grande que dans les cendres des plantes qui s'étaient développées dans une terre normale; je pensai, dès lors, que le plâtre avait sans doute pour effet de rendre soluble la potasse retenue dans la terre arable.

On serait sans doute étonné de l'expression que nous employons ici, si l'on ne savait, d'après les expériences exécutées en Angleterre, il y a une dixaine d'années, par MM. Huxtable, Thompson et Way, que la terre arable possède la propriété curieuse de retenir certains sels solubles, de les fixer mécaniquement pour ainsi dire, de telle sorte que l'eau pure soit en général incapable de les dissoudre. M. Huxtable a exécuté, pour montrer cette propriété absorbante, une expérience curieuse : il fait filtrer du purin sur une couche épaisse de terre arable; l'eau passe limpide et inodore; la potasse, toutes les matières ammoniacales sont fixées, et l'on n'en découvre plus de traces dans le liquide. C'est à cette propriété absorbante de la terre qu'il faut attribuer la faible quantité de potasse et d'ammoniaque qu'on trouve dans les eaux de drainage.

Au reste, toutes les matières solubles qui existent dans la terre arable ne sont pas retenues avec la même énergie; ainsi le sel marin, les azotates, les sels de chaux passent en général avec facilité ; aussi, contrairement à ce qui existe pour la potasse et l'ammoniaque, on les rencontre dans les eaux de drainage [1].

[1] Voyez Barral, *Manuel du drainage*, t. IV.

L'eau pure mise en contact avec la terre arable n'enlèvera donc en général que de faibles quantités de potasse ; mais il n'en sera plus de même si la terre a d'abord été plâtrée, si elle a été mélangée avec des quantités notables de sulfate de chaux.

Après s'être assuré, en effet, qu'on dosait convenablement la potasse en plaçant une certaine quantité de celle-ci dans du plâtre et en l'y recherchant, on plâtra un grand nombre d'échantillons de terre au dixième ; cette quantité énorme fut employée pour que les résultats fussent très-sensibles; quelques terres furent aussi chaulées ; mais, tandis qu'on trouva que dans toutes les terres plâtrées la quantité de potasse soluble dans l'eau froide augmentait beaucoup, on trouva, au contraire, qu'elle diminuait dans les terres chaulées jusqu'à devenir nulles.

Le tableau suivant indique les résultats auxquels on est arrivé :

POTASSE EXTRAITE PAR L'EAU FROIDE DE 1 KILOG. DE TERRE SÉCHÉE A L'AIR.

TERRES MISES EN EXPÉRIENCE.	POTASSE dans la terre normale.	POTASSE dans la terre plâtré.	DIFFÉRENCE due au plâtrage.	DURÉE de l'expérience.
	gr.	gr.	gr.	
Terre noire de Russie, n° 2[1].	0,048	0,136	+0,089	4 mois.
Id.	0,048	0,140	+0,092	15 jours.
Id.	»	0,288	+0,240	1 mois.
Id.	»	0,428	+0,380	1 mois $\frac{1}{2}$.
Terre noire de Russie, n° 1.	0,128	0,138	+0,010	1 mois.
Terre des Chapelles (Seine-et-Marne.).	0,017	0,115	+0,098	1 mois.
Terre de Verclives (Eure[2].)..	0,487	0,556	+0,069	1 mois.
Terre du Rio-Parana.. . . .	0,003	0,067	+0,064	1 mois.
Terre de Sologne.	0,192	0,202	+0,010	1 mois.
Terre franche du Jardin des Plantes..	0,046	0,355	+0,309	24 heures.

Ces premières expériences avaient été tentées sur des terres prises au hasard parmi celles que je pouvais me procurer, mais je pensai ensuite à les vérifier sur d'autres terres choisies spécialement dans le but de voir si, comme les faits précédents semblaient le montrer, le plâtrage favorisait la solubilité de la po-

[1] L'analyse de quelques-unes de ces terres a été communiquée à l'Académie des sciences dans la séance du 13 janvier 1862.

[2] Terre très-riche provenant d'une fosse d'asperges.

tasse. Il devenait évident, en effet, que dans une terre que le cultivateur ne plâtre jamais, on devait trouver de la potasse soluble dans l'eau en quantités assez notables, tandis que dans celles que le cultivateur plâtre avec avantage, il ne devait y avoir de potasse soluble dans l'eau qu'après le plâtrage. La première de ces deux vérifications me fut suggérée par mon élève et ami M. Camille Arnoul, qui m'a prêté, dans le cours de ce travail, le concours le plus actif et le plus habile.

POTASSE EXTRAITE PAR L'EAU FROIDE DE 1 KILOG. DE TERRE SÉCHÉE A L'AIR.

TERRES MISES EN EXPÉRIENCE.	POTASSE dans la terre normale.	POTASSE dans la terre plâtrée.	DIFFÉRENCE due au plâtrage.	DURÉE de l'expérience.
	gr.	gr.	gr.	
Terre d'Éragny (Seine-et-Oise), jamais plâtrée. . .	0,084			
Terre d'Alfort (Seine), jamais plâtrée.	0,082			
Terre de la Guéritaude (Indre-et-Loire), plâtrée avec grand avantage.	traces.	0,105	0,105	12 heures.
Autre terre de la Guéritaude, plâtrée avec grand avantage.	traces.	0,192	0,192	12 heures.

Nous n'avons rien négligé pour prouver que le plâtre avait bien la propriété de liquéfier, de dissoudre la potasse contenue dans la terre arable, et nous songeâmes ensuite, M. Arnoul et moi, à vérifier encore nos premiers résultats, en agissant, non plus sur la terre arable, mais bien sur de l'argile ou sur de l'alumine, dont la structure poreuse, analogue à celle de la terre arable, leur permet d'absorber et de retenir la potasse à l'état insoluble.

Du carbonate de potasse fut dissous dans l'eau, de façon que 100^{cc} continssent 0^{g},100 de potasse; on agita cette dissolution avec de l'alumine normale et avec de l'alumine préalablement mélangée à du plâtre; on fit la même expérience avec du kaolin normal et avec du kaolin plâtré; les résultats furent dans les deux cas à peu près semblables; tandis que la moitié environ de la potasse était retenue par le kaolin ou l'alumine laissés dans les conditions ordinaires, les propriétés absorbantes furent tellement paralysées par le plâtre dans les expériences faites sur les matières

absorbantes mélangées au sulfate de chaux, qu'on retrouva dans la liqueur filtrée toute la potasse introduite.

Un premier fait peut donc être considéré comme démontré : la potasse enfouie dans la terre arable, habituellement retenue, se dissout dans l'eau sous l'influence du plâtre, et est mise dès lors à la disposition des plantes.

Les analyses faites par M. Boussingault sur les récoltes de trèfle plâtré et non plâtré viennent apporter à ces résultats un appui remarquable.

M. Boussingault, en effet, a obtenu les nombres suivants :

MATIÈRES DOSÉES.	RÉCOLTE EXTRAORDINAIRE de 1841. CENDRES DE TRÈFLE		RÉCOLTE PEU FAVORABLE de 1842. CENDRES DE TRÈFLE	
	Non plâtré.	Plâtré.	Non plâtré.	Plâtré.
Acide carbonique	14.2	22 1	21.5	26.8
Chlore	3 4	2.9	2.5	2.2
Acide phosphorique	8.0	6.9	5.4	5.8
Acide sulfurique	3.2	2.6	2.4	2.3
Chaux	23.7	22.4	25.4	26.7
Magnésie	6.3	5.1	0.5	7.4
Oxyde de fer, de manganèse, alumine	1.0	0.5	0.6	traces.
Potasse	19.6	27.8	22.5	25.3
Soude	1.0	0.7	2.2	0.2
Silice	16.8	7.9	10.0	2 7
Perte et charbon	2.8	1.0	2.0	0.6
	100.0	100.0	100.0	100.0
ABSTRACTION FAITE DE L'ACIDE CARBONIQUE ET DE LA PERTE.				
Chlore	4.1	3.8	3.3	3.0
Acide phosphorique	9.7	9.0	7.1	8.2
Acide sulfurique	3.9	3.4	3.1	3.2
Chaux	28.5	29.4	33.2	36.7
Magnésie	7.6	6.7	7.3	10.2
Oxyde de fer, de manganèse, alumine	1.2	1.0	0.6	traces.
Potasse	23.6	35.4	29.4	34.7
Soude	1.2	0.9	2.9	0.3
Silice	20.2	10.4	13.1	3.7
	100 0	100.0	100.0	100.0

On voit que la potasse est, de tous les éléments, celui qui s'est accru davantage sous l'influence du plâtre, si enfin nous admettons les conclusions posées plus haut, plusieurs des faits constatés par la pratique agricole vont s'expliquer avec la plus grande facilité.

Une ancienne observation de Schwertz est très-favorable à notre manière de voir ; cet agronome assure que le plâtre est impuissant à favoriser la végétation du trèfle sur certains sols rebelles à cette culture; mais il ajoute qu'on arrive souvent à triompher des résistances de la terre en l'amendant avec des cendres. Le plâtre, en effet, ne crée pas la potasse, il ne peut que la mobiliser, la rendre soluble, et, si elle fait complétement défaut, son influence est nulle, tandis que les cendres, apportant la potasse elle-même, donnent à la terre l'élément qui lui manquait pour que des légumineuses puissent s'y développer.

Quelques-unes de nos expériences ont montré que la potasse devenait soluble presque immédiatement après le plâtrage. Cette remarque nous explique pourquoi les agriculteurs conseillent de plâtrer les plantes elles-mêmes plutôt que d'ajouter le plâtre sur une terre dépouillée de sa récolte. Dans les deux cas, suivant nous, le plâtre agit seulement sur la terre ; mais, s'il mobilise la potasse sans qu'une plante puisse s'en emparer, cette potasse peut être entraînée par l'eau de pluie et perdue ; si, au contraire, la plante est déjà développée, la potasse peut être absorbée à mesure qu'elle se dissout sous l'influence du plâtre.

On a reconnu que le plâtre ne produit que peu d'effet sur les céréales ; si nous examinons la composition des cendres de ces végétaux, nous y trouvons des quantités notables de phosphates, des quantités notables de silice, et nous savons enfin que les engrais azotés leur sont absolument nécessaires ; or, nous avons vu que le plâtrage ne favorise ni la formation de l'ammoniaque, ni celle de l'acide azotique ; dans quelques-unes de nos expériences, nous avons reconnu cependant que l'eau enlève à une terre plâtrée un peu plus d'ammoniaque qu'à une terre normale : enfin, le plâtre ne favorise pas, nous l'avons constaté, la solubilité de la silice, qui est cependant nécessaire à la formation des pailles des céréales.

Si un grand nombre de faits tirés de la pratique agricole viennent confirmer la manière de voir que je propose, il en est d'autres cependant qui lui sont contraires ; ainsi les betteraves, renfermant

dans leurs cendres une quantité notable de potasse, devraient être plâtrées avec avantage; M. Boussingault cependant a tenté l'opération sans succès; peut-être n'en serait-il pas de même si on opérait sur des topinambours ou des navets; on améliorera peut-être aussi beaucoup la qualité du tabac par le plâtrage, puisque M. Schlœsing a montré que les tabacs agréables à fumer renfermaient des quantités notables de potasse.

Les turneps enfin présentent aussi dans leurs cendres beaucoup de potasse, et je ne serais pas étonné qu'une des raisons de la prodigalité avec laquelle les Anglais amendent ces récoltes de *superphosphates*, c'est-à-dire de phosphates traités par l'acide sulfurique, ne tînt à l'action dissolvante qu'exerce le sulfate de chaux sur la potasse enfouie dans la terre arable.

III

Explication probable de l'action du plâtre sur la terre arable. — Expériences inédites sur l'endosmose des sels. — Le sulfate et le carbonate de potasse.

Les faits que nous venons de faire connaître au lecteur ont été publiés au mois de mai 1863; depuis cette époque nous n'avons cessé de chercher leur explication. Bien des hypothèses ont été faites, et toujours l'expérience est venue nous répondre que notre explication était mauvaise. Bien des fois, nous avons quitté le laboratoire, désespérant d'aller plus loin et de pénétrer la raison de cette action singulière qu'exerce le plâtre sur les propriétés absorbantes de la terre arable ou des corps poreux comme l'alumine et le kaolin.

Nous n'avons pu cependant nous décider à l'abandonner; il y a entre un sujet qu'il travaille depuis quelque temps et le chercheur lui-même des liens qu'il est difficile de briser, et si chaque soir on jure de ne plus chercher, chaque matin vous voit revenir avec de nouvelles espérances et de nouvelles illusions.

Si nous ne pouvons encore répondre complétement à la question qu'on est en droit de nous adresser, nous avons cependant récolté quelques faits qui peuvent avoir encore un certain intérêt pour le lecteur.

Il est très-probable que la potasse qui se trouve enfouie dans la terre arable s'y trouve à l'état de carbonate; c'est du carbonate de

potasse qui a été formé jadis par l'acide carbonique exerçant son action dissolvante sur les roches feldspathiques, qui, par leur décomposition, ont donné les argiles. Or, si on met du plâtre en contact avec du carbonate de potasse, il doit se faire du sulfate de potasse, et peut-être, dira-t-on : ce sel est moins bien retenu par la terre arable que le carbonate, et c'est parce que vous transformez votre carbonate en sulfate, que vous enlevez à la terre la propriété de retenir la potasse.

Vérifions cette idée par l'expérience. Une terre est choisie qui, même sous l'influence du plâtre, ne donne pas de potasse ; elle est partagée en quatre portions égales : deux reçoivent du plâtre, deux autres restent à l'état normal ; un échantillon plâtré et un autre non plâtré reçoivent du sulfate de potasse ; un échantillon plâtré et l'autre non plâtré reçoivent du carbonate de potasse, puis on examine les dissolutions qui ont filtré sur ces terres ainsi préparées. La terre normale laisse passer un peu moins de sulfate de potasse que la terre plâtrée, toutefois la différence n'est pas très-grande ; la terre normale ne laisse absolument pas filtrer de traces de carbonate de potasse, mais la terre plâtrée laisse passer une quantité de potasse notable, beaucoup plus grande que celle qui a filtré quand on a mélangé le sulfate de potasse à l'échantillon de terre plâtré.

Ce n'est donc pas seulement parce que la potasse est à l'état de sulfate, qu'elle filtre mieux au travers de la terre arable ; il se développe dans l'action réciproque du plâtre et du carbonate de potasse une force encore inconnue qui empêche la terre de retenir la potasse.

Sur cette question nous ne savons rien au delà, nous sommes arrêtés ; nous constatons que l'action chimique qui s'exerce entre les deux sels, carbonate de potasse et sulfate de chaux, favorise le passage de la potasse sans savoir l'appliquer ; mais sautons par-dessus cette lacune de notre travail, et voyons ce qui va se passer quand une plante va se trouver en contact avec une dissolution de potasse à l'état de sulfate ou à l'état de carbonate.

Pour le connaître, rappelons-nous quelques-unes des expériences de Dutrochet, dont nous avons plus haut entretenu le lecteur [1]. Nous voyons qu'on peut considérer sans erreur sensible une plante

[1] *L'absorption et la sécrétion*, p. 177.

comme un appareil d'endosmose, et que, si nous plaçons dans un vase poreux comme ceux qu'emploie M. Bunsen dans sa pile, une matière absorbante comme du kaolin ou de l'amidon, nous aurons simulé jusqu'à un certain point une racine qui puise dans le sol les sucs qui la doivent nourrir. Plaçons maintenant cet appareil dans des dissolutions de sulfate ou de carbonate de potasse, et nous reconnaîtrons avec étonnement que, le sulfate de potasse pénètre dans le vase poreux avec une telle énergie que la dissolution extérieure s'appauvrit de sel, c'est-à-dire qu'elle se trouve, après l'expérience, moins riche en potasse qu'auparavant, que dans un volume constant la quantité de potasse a diminué, tandis que nous reconnaîtrons au contraire, que la potasse a augmenté dans la dissolution de carbonate, et que celle-ci est plus concentrée qu'auparavant. Tandis que le sulfate de potasse est très-endosmotique, qu'il pénètre avec facilité dans les membranes, le carbonate, au contraire, se refuse à pénétrer dans le vase poreux.

Ainsi, en mettant dans la terre arable du plâtre, on a non-seulement transformé le carbonate de potasse en un sel plus mobile, moins facilement retenu par les corps poreux, mais on a encore rendu la potasse capable de pénétrer avec une grande énergie au travers d'une cloison poreuse, on l'a rendue plus mobile, on en a fait une matière essentiellement diffusible.

Tout n'est pas dit encore, cependant. Comment se fait-il que, si du sulfate de potasse pénètre dans la racine, on ne trouve plus dans la plante adulte que de faibles quantités d'acide sulfurique; comment ce sulfate de potasse s'est-il décomposé, qu'est devenu son second élément, l'acide sulfurique; la plante, est-elle donc un appareil analogue à ceux de Dutrochet : à côté du courant d'endosmose y a-t-il un courant d'exosmose ; les idées anciennes sont-elles réelles, les plantes peuvent-elles excréter certaines matières ?

Toutes ces questions délicates se soulèvent devant nous; à mesure que nous avançons, nous rencontrons un champ de recherches plus vaste et plus étendu, que tous nos efforts vont tendre à explorer.

P. P. Dehérain.

II

LA CULTURE DES CÉRÉALES ET LA FABRICATION DU PAIN

Le pain est la base de l'alimentation de la plupart des habitants de notre pays ; toutes les questions qui touchent à sa production sont d'autant plus dignes d'attention, que le régime de la liberté ayant remplacé celui de la protection, chacun peut s'ingénier à produire plus, à fabriquer mieux, certain de trouver dans un marché largement ouvert, dans des prix librement débattus, la récompense de ses efforts.

I

Fécondation artificielle des céréales et des arbres fruitiers. — Procédés de M. Hooibrenck.

Nous avons essayé, dans quelques-uns des écrits insérés précédemment dans ce recueil[1], de montrer combien la culture des céréales, et notamment du froment, s'était perfectionnée en France. Le rendement de l'hectare, qui n'atteignait en moyenne sous la Restauration que 7 à 8 hectolitres de grain, s'est élevé aujourd'hui à 14 hectolitres. Ce chiffre, trop fort pour le Midi, est au contraire beaucoup trop faible pour le Nord; et les contrées de plus en plus nombreuses où les cultures industrielles de colza et de betteraves alternent avec le froment, présentent des rendements beaucoup plus élevés qui atteignent 30, 35 et 40 hectolitres à l'hectare.

Ces résultats remarquables sont obtenus par une meilleure préparation de la terre arable, par des fumures plus abondantes, et aussi par un choix plus judicieux des variétés employées ; on conçoit cependant qu'on pourrait encore les surpasser, si on était certain que toutes les fleurs portassent fruits, et que la récolte ne fût pas soumise à toutes les chances d'avortement et de coulage qui

[1] Voyez, dans la première année de l'*Annuaire*, l'Exposé des procédés de M. Mège-Mouriès, et dans la seconde année, l'Agriculture à l'exposition de Londres.

parfois les diminuent grandement. Pour qu'une fleur porte fruit, il faut, en effet, qu'elle soit fécondée ; il faut qu'au moment où la fleur est épanouie le pollen, la poussière fécondante, s'échappe des étamines et vienne se fixer sur le stigmate qui termine l'organe femelle ; là le grain de pollen envoie des ramifications qui pénètrent au travers du style jusqu'à l'ovaire, dès lors le fruit peut se nouer et la graine arriver à maturité. Le vent, les insectes, se chargent de ce transport du pollen des étamines au stigmate ; mais si la pluie est forte, le vent violent, la poussière fécondante est entraînée ; elle ne se fixe pas sur le stigmate, dès lors la fécondation n'a pas lieu, la fleur se flétrit, meurt, tombe, le fruit ne se noue pas, la graine n'arrive pas à maturité.

Un horticulteur doué d'un esprit original et chercheur, M. Hooibrenck, chef de culture de M. Jacquesson, dans le département de la Marne, s'appuyant sur ces observations, songea à faire artificiellement, méthodiquement, ce qui est confié jusqu'à présent au vent et aux insectes ; il veut féconder lui-même les fleurs des céréales ainsi que celles des arbres fruitiers.

Ses essais ont vivement attiré l'attention du public ; l'an dernier, l'Empereur a même été visiter les cultures de M. Hooibrenck, et cette année une commission a été envoyée à Châlons. Elle a constaté les faits et a réservé ses appréciations dans un rapport auquel nous allons faire de fréquents emprunts.

Quand il s'agit de féconder les arbres fruitiers, M. Hooibrenck emploie une méthode dont il modifie l'application suivant qu'il s'agit d'espaliers ou d'arbres de plein vent.

« Voici comment il opère à l'égard des espaliers : à l'époque où les fleurs s'épanouissent, il touche délicatement les stigmates avec le doigt enduit de miel, puis, lorsque toutes les fleurs sont ainsi préparées, il passe sur l'ensemble une petite houppe à poudrer, mais à duvet un peu court ; le pollen déplacé par le frôlement de la houppe tombe sur les stigmates emmiellés et y adhère, et la fécondation se trouverait, dit-on, assurée à ce point qu'on obtiendrait autant de fruits qu'il y a eu de fleurs opérées.

« L'opération, peu dispendieuse, se répète autant de fois qu'on le juge nécessaire.

« Pour les arbres de plein vent, tels que cerisiers, pruniers, pommiers, etc., le procédé se simplifie. M. Hooibrenck fait usage d'une sorte de plumeau composé de brins de laine, de même na-

ture que celle qu'il emploie pour la fécondation des céréales, et d'environ 20 centimètres de longueur. Il pose sur quelques-uns des brins une très-petite quantité de miel, destinée à retenir le pollen ; puis il promène le plumeau, comme pour les épousseter, sur toutes les fleurs de l'arbre. Le même procédé s'applique à la vigne et à d'autres plantes. »

Enfin M. Hooibrenck, et c'est sans doute la partie de ses essais qui présenterait la plus grande importance si elle est appelée à réussir, fait encore usage d'un procédé analogue pour opérer la fécondation artificielle des céréales. Son appareil consiste en une corde de 20 mètres à laquelle sont attachés des brins de laine de 33 à 35 centimètres de longueur. Ces brins de laine doivent être assez nombreux pour se toucher ; une petite balle de plomb, de la grosseur d'une chevrotine, est attachée à l'extrémité d'une partie d'entre eux, de cinq en cinq fils. L'appareil est passé sur les épis de manière à les secouer légèrement. Trois personnes sont employées à cette opération ; un homme à chaque extrémité de l'appareil et un enfant vers le milieu pour soutenir la corde.

L'opération doit être répétée trois fois, à deux jours d'intervalle, la première fois au moment où le pollen se développe d'une façon sensible.

La dépense nécessaire pour féconder un hectare de céréales ne s'élèverait, dit-on, qu'à 2 francs, en répétant l'opération trois fois, comme nous venons de l'indiquer. L'appareil lui-même ne coûterait pas plus de 5 à 6 francs et peut durer fort longtemps.

Les avantages de ces pratiques répondent-ils à ce qu'on en peut espérer d'abord, c'est ce que nous devons maintenant examiner, en nous renseignant auprès des commissions qui ont visité les cultures de M. Hooibrenck. La première de ces deux commissions, qui s'est rendue à Sillery le 24 juillet, se composait de MM. Payen, Dailly, Lefour et Simons ; la seconde, plus spécialement chargée de l'examen des arbres fruitiers, était formée de MM. Payen, Decaisne, Pepin et Simons.

« Pour les céréales, on a constaté les résultats suivants : un are de seigle fécondé par le procédé Hooibrenck a rendu 34 lit. 500, pesant net 25 kil. 500, ce qui correspond à un produit de 34 hectolitres par hectare.

« Un are de seigle non fécondé a donné 22 lit., pesant 16 kil., soit un rendement de 22 hectol. 600 à l'hectare.

« Un are de froment fécondé a produit 41 lit. 500, pesant 32 kil., et un are de froment non fécondé 30 lit. 500, pesant 21 kil., ce qui représente pour la partie fécondée un rendement de 41 hectol. 500 à l'hectare, tandis que pour la partie non fécondée le rendement serait seulement de 30 hectol. 500.

« Il est vrai que, pour le blé comme pour le seigle, la portion de champ qui a été fécondée se trouvait dans une position plus favorable que celle qui ne l'a pas été. Toutefois, la différence de situation topographique était beaucoup plus sensible pour le froment que pour le seigle, et, en tout cas, elle ne semble pas suffire pour expliquer une différence aussi considérable dans les rendements.

« Pour les arbres fruitiers, on n'avait pas les mêmes éléments de comparaison que pour le froment et le seigle.

« La commission a trouvé des arbres de diverses espèces, et notamment des pruniers chargés de fruits ; mais comme les branches de ces arbres avaient été inclinées à 112°, et que, dans l'opinion de M. Hooibrenck, cette inclinaison a eu pour effet d'augmenter la production, on a dû se borner à reconnaître l'abondance des fruits sans pouvoir indiquer dans quelle mesure la fécondation artificielle aurait contribué à ce résultat. »

D'après ces premiers renseignements, il ne restait plus qu'une résolution à prendre, c'était de continuer les expériences pendant la saison prochaine ; la ferme impériale de Fouilleuse, la treille de Fontainebleau, ont été désignées par l'Empereur pour le lieu des nouvelles expériences qui, seront suivies par les deux commissions précédentes fondues en une seule.

Il est sans doute imprudent de vouloir devancer l'expérience et prédire ce qu'elle enseignera ; chacun apprend journellement à ses dépens combien est dangereux ce métier de prophète ; il faut reconnaître cependant que l'opération présentera peut-être quelques difficultés à raison de la floraison irrégulière des plantes à féconder. Toutes les fleurs d'un champ de blé, toutes celles du sarrasin surtout, sont loin de s'épanouir simultanément, et il faudra peut-être répéter l'opération plus souvent que ne l'indique M. Hooibrenck. Nous le répétons cependant, il faut essayer sans parti pris, l'expérience n'est ni coûteuse ni difficile, elle sera certainement répétée dans beaucoup de localités, et l'an prochain on pourra prononcer à coup sûr, si surtout les expériences sont faites comparativement, c'est-à-dire si on féconde artificiellement la

moitié d'un espalier en laissant l'autre à lui-même ; si on divise un champ de froment en deux parties bien semblables, qu'on féconde l'une et qu'on laisse la fécondation s'opérer naturellement dans l'autre. C'est seulement à cette condition qu'on aura des conclusions solides.

II

Le froment est la première des céréales. — Analyses de M. Peligot. — La fabrication du pain, ses défauts. — Nouveaux procédés. — Fraudes diverses commises par la boulangerie. — Expériences de M. Barral.

Nous avons fait voir plus haut [1] que les aliments que reçoivent les animaux doivent non-seulement servir de combustibles à la machine animale, doivent non-seulement fournir les principes destinés à être brûlés pour produire chaleur et mouvement, mais encore qu'ils seraient insuffisants s'ils ne renfermaient des matières plastiques, analogues par leur constitution à la chair, aux muscles, aux tissus des animaux mêmes. Nous avons vu qu'un animal pouvait vivre quand il recevait exclusivement des aliments plastiques variés, de la viande, des œufs, du fromage, mais qu'il éprouvait un sentiment de faim intolérable, quand sa ration se composait exclusivement de matières ternaires dépourvues d'azote, telles que du sucre, de la gomme, de l'amidon, de la graisse.

Aussi, bien qu'un aliment complet doive renfermer à la fois des matières azotées dites plastiques et des matières carbohydrogénées, dites respiratoires, on attribue généralement une plus grande importance aux aliments riches en matières azotées. Nous avons rappelé, dans le travail auquel nous faisions allusion plus haut, que les végétaux renferment des principes azotés, et que notamment, en malaxant de la farine de froment sous un filet d'eau, on obtenait une matière élastique, molle, grisâtre, connue sous le nom de gluten, et qui présente par sa composition une telle analogie avec les matières animales, qu'on peut la désigner sous le nom expressif de viande végétale. Ce gluten, insoluble dans l'eau, n'est pas la seule matière azotée contenue dans

[1] Voyez p. 138.

les végétaux. Quand on lave une farine, on trouve dans l'eau de lavage une matière soluble, très-analogue au blanc d'œuf, et qui a reçu le nom d'albumine végétale. C'est l'ensemble du gluten et de l'albumine végétale qui constitue les matières azotées des grains qui forment la base le l'alimentation humaine ; le froment est de toutes les céréales la plus riche en matières azotées : tandis que l'orge renferme sur 100 parties 13,4 de gluten et d'albubine ; le maïs, 12,8 ; l'avoine, 11,9 ; le seigle, 9,0 et le riz 7,8, on trouve, en prenant la moyenne d'un grand nombre d'analyses exécutées par M. Péligot sur des blés de provenances très-variées, que le froment renferme 14,6 pour 100 de gluten et d'albumine.

Ainsi la science vient justifier la préférence accordée au froment depuis un temps immémorial dans les régions tempérées où sa culture peut se développer concurremment à celle de l'orge, de l'avoine et du seigle.

Il ne faudrait pas croire, au reste, que le blé présente toujours la même richesse ; on trouve au contraire des différences qui peuvent aller du simple au double ; ainsi M. Peligot a trouvé des blés ne renfermant que 10 pour 100 de matières azotées, tandis que d'autres en accusaient jusqu'à 20 pour 100. La différence des variétés cultivées peut rendre compte de ces écarts considérables, mais le mode de culture influe aussi notablement sur la composition des grains. Hermstaedt, puis M. Boussingault, ont montré depuis longtemps déjà qu'un blé cultivé dans un champ soumis au mode d'engrais habituel a donné une quantité de matières azotées d'un tiers moins forte que celle qui fut fournie par la même variété de blé, qui avait crû dans une terre de jardin bien fumée. Des expériences nombreuses, exécutées par M. Reiset et par M. Barral, sont venues confirmer complétement ce fait intéressant ; ces résultats sont d'autant plus importants qu'ils détruisent une opinion émise récemment à propos du concours de 1862, où l'un des jurés affirmait « que les qualités de blé sont en raison inverse de l'état d'avancement dans lequel se trouve l'agriculture de chaque localité, ou que ce sont les pays les plus neufs, ceux qui possèdent des terres vierges produisant naturellement sans le secours d'engrais artificiels, qui donnent des grains très-beaux et très-riches en gluten ; tandis qu'au contraire, dans les contrées où l'agriculture est très-avancée, les espèces souvent seraient pauvres et dégénérées. » C'est donc l'inverse qui est vrai :

quand une terre est bien préparée, pourvue d'engrais en quantité considérable, que le rendement de l'hectare s'élève, qu'on arrive à 30 ou 35 hectolitres, on a en même temps des blés de meilleure qualité, plus riches en principes nutritifs.

Le froment renferme en moyenne 14 pour 100 d'eau; cette quantité varie au reste dans des limites assez étendues, elle monte parfois jusqu'à 19 ou 20 pour 100. — Il est à remarquer que les gros grains, qui ont belle apparence, qui tentent l'acheteur, qu'il paye plus cher, sont souvent ceux qui contiennent le plus d'eau et aussi le moins de gluten; le blé renferme encore en moyenne 1,6 pour 100 de principes minéraux, exclusivement composés de phosphates; 1,7 de cellulose, c'est-à-dire de la matière dure, jaunâtre, de composition analogue au bois qui forme l'enveloppe du grain; l'amidon et la dextrine forment enfin le complément des 100 parties, c'est-à-dire environ 68.

Avant d'être employé à la fabrication du pain, le froment doit être réduit en poudre; il est moulu, puis des appareils spéciaux séparent de la partie blanche, formant la farine proprement dite, les enveloppes du grain qui constituent le son.

Quand on veut obtenir, ainsi qu'il est d'usage à Paris, un pain très-blanc, il faut, avec les procédés de panification employés aujourd'hui, purger la farine très-complétement de son, c'est-à-dire des enveloppes du grain. Il arrive malheureusement, que dans cette opération, une partie notable du poids total de froment est rejetée; en général, on n'obtient pas avec 100 parties de grain plus de 70 à 75 de farine; un quart au moins du poids total est donc compris sous le nom de son.

Ce résultat a lieu de surprendre, quand on se rappelle que, d'après les analyses de blé précédentes, 100 de grain ne renferment que 1,5 à 2 de cellulose, c'est-à-dire de matière semblable au bois; il est donc évident qu'une partie notable d'amidon et de gluten reste adhérente à l'enveloppe du grain, et est ainsi perdue pour l'alimentation humaine. Non-seulement, enfin, une partie importante du poids total du froment passe ainsi dans les rebuts destinés aux animaux, mais l'analyse comparée de farines complètes non blutées et de farines commerciales fabriquées sur le type marchand de Paris, montre encore que ce sont les parties les plus nutritives qui disparaissent dans les moutures et les blutages successifs nécessaires pour arriver à la blancheur parfaite

qu'exige la fabrication des boulangers parisiens. Ainsi, tandis qu'on trouve dans une farine normale pour ainsi dire une moyenne de 13,4 pour 100 de gluten sec, les farines employées dans les boulangeries de Paris ou de Londres n'en accusent que de 9 à 10, quelquefois même cette proportion descend beaucoup ; ainsi M. Barral, dans les recherches intéressantes qu'il a entreprises sur le sujet qui nous occupe, n'a trouvé parfois que 6,25 de gluten sec dans 100 de farine.

Il faut naturellement, d'après ces faits, que le son soit tout différent de ce qu'on pourrait supposer au premier abord, et, en effet, M. Millon a publié, il y a déjà plusieurs années, des analyses d'où il résulte que, dans 100 parties de son, on trouve 51 d'amidon et jusqu'à 15 de gluten.

Aussi M. Millon s'élève-t-il avec raison contre le mode de mouture et de blutage employés actuellement. « Si, dit-il, l'on annonçait tout à coup qu'on est parvenu à enrichir la France de plusieurs millions d'hectolitres d'une substance très-alimentaire, sans aucun frais de culture et sans ôter à d'autres productions un seul pouce du sol ; si l'on déclarait que cette substance contient plus de gluten que le blé, qu'elle est deux fois plus abondante que lui en matière grasse, et, qu'à part 10 pour 100 de ligneux, le reste de ses principes est très-assimilable, on croirait assister à quelque rêverie. Cette substance existe cependant ; elle réside dans le son que l'on expulse à grands frais du blé. On appauvrit le blé dans son azote, dans sa graisse, dans sa fécule, dans ses sels, dans ses principes aromatiques et sapides, pour se débarrasser de quelques millièmes de ligneux... Quant à la blancheur que l'on communique au pain en éloignant le son, c'est une qualité purement idéale, dans laquelle on poursuit, par préjugé, l'essence alimentaire du blé. »

On a discuté cette manière de voir. M. Poggiale, notamment, a trouvé dans le son une quantité de ligneux ou cellulose plus grande que celle qu'avait déterminée M. Millon ; mais ces travaux ne font qu'affaiblir légèrement les conclusions de M. Millon, sans les détruire, et il n'en résulterait pas moins, en admettant les conclusions de M. Poggiale, que les procédés de la meunerie française déterminent une perte de 12 à 15 pour 100 de matières assimilables.

Il est aisé de comprendre qu'il a fallu de sérieux motifs pour

déterminer la meunerie à perfectionner son outillage pour arriver à séparer le son le plus complétement possible de la farine, malgré les qualités nutritives remarquables qu'il présente.

Elle a dû obéir d'abord au goût du public, qui préfère de beaucoup le pain blanc au pain bis, et ensuite aux exigences de la fabrication, qui, en général, ne sait produire ce pain blanc qu'à la condition de n'employer que des farines complétement exemptes de son. Aussi, si on veut arriver à tirer du froment tout le parti possible, il faut, ou bien changer le goût public, et persuader à chacun que le pain bis est préférable au pain blanc, ce qui paraît difficile, ou bien changer les méthodes de fabrication, et arriver à produire du pain blanc avec une farine moins bien purgée de son que celle que nous employons aujourd'hui.

C'est ce dernier problème qu'on s'est efforcé de résoudre depuis plusieurs années, et nous avons eu occasion déjà d'entretenir les lecteurs de l'*Annuaire* des procédés de panification proposés par M. Mège Mouriès, basés sur des recherches scientifiques qui éclairent la question d'un jour tout nouveau.

M. Mège Mouriès a découvert dans les enveloppes du grain de froment, dans les pellicules du son, une matière azotée, soluble dans l'eau, capable de jouer le rôle de ferment et d'agir sur l'amidon du blé de façon à le transformer en *acide lactique*. Cette action serait analogue à celle de plusieurs autres matières azotées agissant par contact, pour déterminer parfois des transformations profondes.

On sait, par exemple, que la diastase qui se produit dans les grains de froment, dans les tubercules de pommes de terre au moment où la germination a lieu, agit par contact sur l'amidon et le transforme d'abord en une matière gommeuse, soluble dans l'eau, nommée dextrine, puis ensuite en une variété de sucre, en glucose. La céréaline agirait de la même façon, mais, exerçant une action plus profonde sur l'amidon, elle le transformerait en un acide, celui-ci agissant à son tour sur le gluten contenu dans la farine, l'attaquerait violemment, le noircirait en produisant ces matières amères qui résultent souvent de l'action des agents puissants sur les matières organiques ; le feu, l'acide sulfurique, détruisent ainsi le sucre, donnent des composés noirs, amers, dont le *caramel* peut donner une idée.

Si donc, d'après M. Mège Mouriès, on élimine avec tant de soin

le son de la farine, c'est que le son renferme cette céréaline, ferment lactique capable d'altérer le gluten ; mais on comprend sans peine que, si on arrivait à paralyser l'action de ce ferment, on pourrait produire du pain blanc, malgré la présence du son, et, par suite, employer à la fabrication du pain une fraction plus grande du froment ; au lieu de bluter les farines à 70 à 75, on pourrait utiliser celles qui n'ont subi qu'un déchet de 14 à 15 pour 100. A la farine ordinaire, préparée par le blutage habituel des meuniers parisiens, M. Mège Mouriès ajoute, en effet, au moment où les pâtes sont préparées et levées, des farines bises, c'est-à-dire des farines renfermant du son, et il opère ensuite le mélange de ces farines avec la pâte déjà faite si rapidement, le tout enfin est cuit si promptement, que la céréaline n'a pas le temps d'exercer son action sur l'amidon et sur le gluten.

La méthode proposée par M. Mège Mouriès présente donc déjà un véritable progrès sur celle qu'on emploie journellement; toutefois son pain, qu'on trouve excellent au premier abord, présente cependant un goût particulier qui finit à la longue par lasser ; plusieurs des établissements publics qui l'avaient d'abord employé l'ont abandonné.

Parmi les perfectionnements que chacun désire voir apporter dans la fabrication du pain se rencontre surtout celui qui aurait pour effet de remplacer le travail des geindres, s'épuisant en efforts sur la pâte, par le travail des machines ; la fabrication pourrait y gagner beaucoup en régularité et en propreté. On aurait chaque jour des pains semblables à ceux de la veille. On n'aurait plus à compter avec la vigueur et l'activité des ouvriers. Enfin on serait débarrassé de l'image répugnante qui s'offre à la vue quand on pénètre dans un fournil au moment du travail de la pâte.

On a tenté déjà un grand nombre d'essais pour remplacer le travail humain par celui des machines, et le nombre des pétrins mécaniques qui ont été présentés est considérable ; le principal obstacle à leur emploi a toujours été l'extrême division du travail établie par l'organisation réglementaire de la boulangerie. Il est probable qu'aujourd'hui que le régime de la liberté est à peu près complétement établi, il va s'opérer d'importants changements dans l'organisation de ce commerce, et qu'un petit nombre de grands établissements, dans lesquels seront établis tous les perfectionnements mécaniques à mesure qu'ils paraîtront, fourniront du pain

aux détaillants, qui revendront au consommateur une marchandise dont ils ne seront plus que les entrepositaires.

Le régime de la liberté aura sans doute encore pour effet l'essai de tous les procédés chimiques destinés à régulariser la fermentation de la pâte, ou même à la supprimer en la remplaçant par un aérage artificiel. On sait que la principale raison qui détermine les boulangers à faire lever le pain est de diviser la pâte en une multitude de petites cellules, par suite du dégagement d'acide carbonique qui se produit pendant la fermentation. Sur tous les points, quand le mélange a été bien opéré, le levain est en contact avec l'amidon et le transforme successivement en dextrine, en glucose, enfin en alcool et en acide carbonique, qui, dilatés par la chaleur au moment de la cuisson, donnent au pain la légèreté, la porosité, qui en font un aliment d'une facile digestion.

On comprend toutefois que, si, par un moyen quelconque, on pouvait introduire dans la pâte un gaz ne provenant pas de la fermentation de l'amidon, on produirait une pâte aérée, dans laquelle aucun des principes du froment ne seraient altérés, dans laquelle surtout on pourrait faire entrer impunément ces gruaux bis, si riches en matières alimentaires, que la fabrication rejette aujourd'hui parce qu'ils contiennent des matières facilement altérables pendant la fermentation. Aussi, sans pouvoir affirmer que la fabrication du *pain aéré* (*aerated bread*), déjà en usage en Angleterre, prendra chez nous un grand développement, ce procédé mérite un examen attentif.

Nous empruntons à M. Barral la description de cette nouvelle méthode.

L'appareil consiste d'abord en un générateur de gaz acide carbonique, analogue à celui dont se servent les fabricants d'eaux gazeuzes. Le gaz est produit par l'action de l'acide sulfurique sur du carbonate de chaux, par exemple, sur de la craie de Meudon, dans un tonneau doublé de plomb, où un mélangeur mécanique facilite le contact des deux corps. Aussitôt produit, il passe dans un gazomètre plus ou moins grand, selon l'importance de la boulangerie; il s'y emmagasine jusqu'au moment où une pompe le prendra pour l'incorporer dans l'eau du pétrissage.

La farine est amenée directement dans un entonnoir qui sert à la faire entrer dans le pétrin placé au-dessous.

Le pétrin se compose d'une sphère en fonte, par le centre de la-

quelle passe, traversant une boîte à étoupes, un arbre en fer armé de cames pour opérer le mélange; cet arbre est mis en mouvement par une machine à vapeur, ou telle autre force motrice qu'on aura à sa disposition. Cette sphère doit être susceptible de supporter une pression de sept atmosphères environ.

On opère très-rapidement avec cet appareil de la façon suivante : un sac de farine est versé par un tube flexible dans la sphère métallique; puis on pompe l'air contenu dans celle-ci, et bientôt, en la mettant en communication par un tube avec un réservoir dans l'eau duquel on a dissous de l'acide carbonique, à l'aide d'une forte pression, on fait pénétrer dans la pâte l'eau chargée de gaz. On met alors l'arbre en mouvement, pour que la pâte soit bien humectée; après un repos de quelques minutes, on ouvre le réservoir inférieur, d'où la pâte, pressée par le gaz intérieur, est expulsée sous forme de gros boudins, qui se gonflent aussitôt après leur sortie, par suite de la dilatation de l'acide carbonique qu'ils renferment. On comprend facilement, en effet, que ce gaz emprisonné dans la pâte sous une pression considérable, rapproché violemment, doive tendre à se dégager, quand la pression diminue, et qu'il détermine dans la masse qui l'enveloppe un nombre considérable de petites cavités, qui s'agrandiront encore, quand le gaz sera dilaté, pendant la cuisson. Les pâtons divisés sont cuits enfin par la méthode ordinaire.

On évalue qu'une boulangerie de cette nature, pouvant panifier deux sacs anglais de farine par heure, coûte de 37,500 à 42,500 fr. à établir. Pour un sac par heure au lieu de deux, la dépense serait d'une vingtaine de mille francs, et elle descendrait à 6,250 fr. pour un petit appareil capable seulement de panifier vingt sacs par semaine.

L'inventeur estime qu'il y a une économie de 25 pour 100 dans les frais de panification, et qu'en outre, attendu qu'on évite toutes les pertes produites par les poussières de farine répandues dans le fournil et par la fermentation de la pâte, on obtient un excès de rendement de 7 kilog. de pain par quintal de farine. — Le pain ainsi fabriqué paraît, au reste, de bonne qualité.

La liberté qui préside actuellement au commerce de la boulangerie permettra certainement l'essai de ce système, établi déjà en Angleterre, car le prix, pouvant être débattu librement entre le vendeur et l'acheteur, celui-ci s'adressera naturellement au pro-

ducteur qui lui donnera la marchandise la meilleure, au prix le moins élevé.

La population parisienne et celle des grands centres sera ainsi certainement mieux nourrie que sous le régime de la taxe, que les boulangers avaient trouvé le moyen d'éluder à leur profit.

Il résulte, en effet, de la longue et patiente investigation à laquelle s'est livré M. Barral, que les boulangers emploient deux moyens différents de tromper le public et de lui faire payer le pain à un prix plus élevé que la taxe.

Elle établit, en effet, du pain de deux qualités différentes, mais il se trouve que la deuxième qualité ne se fabrique que très-rarement, et que dans un grand nombre de boulangeries on refuse d'en livrer au consommateur ; en général, au reste, ce pain renferme une quantité d'eau plus considérable que celle qu'il devrait contenir normalement. Il est reconnu, en effet, que la farine ne contenant en moyenne que de 12 à 18 pour 100 d'eau, on doit régulièrement, avec 100 kilog. de farine, fabriquer 130 kilog. de pain, celui-ci doit donc renfermer seulement de 32 à 37 pour 100 d'eau. Or les analyses du pain de seconde qualité exécutées par M. Barral lui ont fourni un excès d'eau de 4 à 6 pour 100, de sorte qu'au lieu de tirer 130 kilog. de pain de 100 kilog. de farine, le boulanger en fabrique 144, vendant ainsi 14 litres d'eau au prix de 30 cent. le litre.

Le pain de première qualité soumis à la taxe présente une forme déterminée, il ne doit pas avoir plus de 70 centimètres de long ; c'est le pain que consomme la classe ouvrière ; il est soumis à deux ordres de falsifications : il ne présente généralement pas le poids réglementaire, et il renferme trop d'eau.

M. Barral a en effet pesé 42 pains qui devaient présenter un poids de 2 kilog. ; pour tous on a trouvé un déficit qui, quelquefois insignifiant, est monté une fois jusqu'à 292 gr. ; le déficit moyen a été de 88 gr., près d'un vingtième ; ainsi ce pain, au lieu d'être vendu 38 cent. le kilog., était vendu en réalité 40 cent. Il est vrai qu'on a le droit de faire peser le pain et de se faire ajouter un morceau pour compléter les 2 kilog., seulement il arrive généralement dans ce cas que le boulanger livre un pain beaucoup plus aqueux. Une personne se présente dans une boulangerie, jette son argent sur le comptoir en demandant un pain de 2 kilog. et l'emporte rapidement ; ce pain présentait un

déficit de 251 grammes, il renfermait seulement 38 pour 100 d'eau. Une autre personne se présente dans la même boulangerie, demande un pain de 2 kilog. et exige la pesée, on lui fournit un pain auquel il faut ajouter un morceau de 90 grammes, mais à l'analyse ce second pain renfermait 41 pour 100 d'eau au lieu de 38.

Les pains de fantaisie, en général de bonne qualité, présentent sur le poids un déficit réellement scandaleux, montant jusqu'à 125 et 140 grammes sur des pains de 500 grammes, dont le prix devient ainsi de 58 cent. au lieu de 38 ; en appliquant le même système de recherche aux pains de 1 kilog., le prix montait en moyenne à 49 cent. le kilog.

On voit donc que le système de la taxe a produit des effets détestables, et que, certes, la liberté vaut mieux ; ajoutons cependant qu'il nous paraîtrait juste de faire rentrer les boulangers dans le droit commun : il est défendu à tous les négociants de vendre à faux poids, ils doivent livrer le poids des marchandises qu'ils déclarent, et il nous paraît que la loi ne fait pas d'exception, que par suite le boulanger doit être tenu de vendre un pain quelconque au poids nominal, en fixant au reste le prix qui lui conviendra. La loi exige aussi qu'il n'y ait pas de tromperie sur la qualité de la marchandise vendue, elle punit le falsificateur de vin, d'eau-de-vie, de lait, pourquoi ne punirait-elle pas celui qui fait pénétrer dans la base de l'alimentation nationale une quantité d'eau complétement anormale ?

Il faut respecter la liberté, et nous sommes loin de réclamer pour tout et partout la protection de l'administration. Cependant il est des tromperies qu'elle seule peut empêcher ; le public, en effet, n'a pas à sa disposition les instruments convenables pour déterminer la quantité d'eau qui existe dans le pain qu'il achète. Il faudrait donc que la boulangerie fût soumise à une surveillance analogue à celle qui existe sur la laiterie.

Au système de réglementation qui vient d'être aboli, il convient donc de substituer la liberté et le droit commun ; la liberté à chacun de fabriquer comme il lui convient, de vendre à prix débattu, mais à la condition qu'il ne vendra pas à faux poids une marchandise falsifiée.

P. P. Dehérain.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

PHYSIQUE

CHIMIE

PHYSIQUE DU GLOBE

PHYSIOLOGIE

SCIENCES NATURELLES

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

MÉCANIQUE, ART DE L'INGÉNIEUR

PHYSIQUE APPLIQUÉE

CHIMIE APPLIQUÉE

AGRICULTURE — ALIMENTATION PUBLIQUE

AUTEURS

CITÉS DANS CET OUVRAGE

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.


XXIX
F19